

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université KasdiMerbah d'Ouargla



—ooOoo—  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Mécanique  
—ooOoo—

Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme de

## MASTER ACADEMIQUE

Filière: Génie Mécanique  
Spécialité: Génie Energétique

Thème:

**Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire**

Présenté et soutenu publiquement par :

**MEHIRI Ahmed Yacine et BEN MAZOUZIA Mohamed Fares**

**Soutenu Publiquement Le: 01/06/2017**

**Devant Le Jury :**

BOUBEKRI Abdelghani	Professeur	UKM Ouargla	Président
NEGROU Belkhir	MCA	UKM Ouargla	Examineur
ACHOURI El Hadj	MAA	UKM Ouargla	Encadreur
SETTOU Noureddine	Professeur	UKM Ouargla	Invité

**Année Universitaire : 2016 /2017**

## *Remerciements*

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.

Nous tenons à exprimer nos profonde reconnaissance au directeur de mémoire Monsieur, E.ACHOURI, pour sa patience, sa disponibilité, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour accomplir ce travail, et en particulier :

Nous remercions le président de jury Mr. Le Pr. BOUBEKRI Abd el ghani, qui a accepté de juger ce travail.

Nos vifs remerciements aussi à Messieurs NEGROU Belkhir, pour avoir accepté d'être examinateurs de ce travail.

Aussi nous remercions Mr. Le Pr. SETTOU Noureddine d'avoir accepter d'être présent à la soutenance de ce travail.

Nous remercions l'ensemble du personnel de laboratoire de Génie mécanique au niveau de l'université de Kasdi MERBAH Ouargla, Plus particulièrement monsieur BOUAFIA Lamine Qui nous a aidés surtout dans la partie de construction de notre prototype.

Nos remerciements vont également à nos camarades d'étude de génie mécanique, à nos camarades de la faculté, et en particulier à M. DJABALLEH SETTOU Belkhir, BAKHALED Youcef, BENHAMIDA Saci, LOUAWAZEN Ahmed.

# Sommaire

Remerciements	
sommaire	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale	1

## Chapitre I : Contexte et enjeux

I.1. Aperçu historique sur l'énergie	4
I.2. Contexte climatique	5
I.2.1. Problèmes climatiques	5
I.2.2. Le réchauffement climatique	5
I.3. Enjeux énergétiques	6
I.3.1. Demandes et défis énergétiques	6
I.3.2. Les énergies renouvelables	8

## Chapitre II : Description de la cheminée solaire

II.1 Introduction	12
II.2. Historique	13
II.3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire	13
II.4. Principaux éléments de la cheminée solaire	14
II.4.1. Collecteur	14
II.4.2. Cheminée	14
II.4.3. Turbine éolienne	15
II.5. Le système de stockage	16
II.6. Les différents phénomènes intervenants dans la cheminée solaire	16
II.6.1. L'effet Venturi	16
II.6.2. L'effet de serre	16
II.6.3. L'effet de convection naturelle	17
II.6.4. L'effet d'ovalisation	17
II.6.5. Stockage d'énergie	17
II.7. Analyse thermodynamique	17
II.7.1. Puissance électrique produite par la cheminée solaire	17

II.8. Avantages et inconvénients de la cheminée solaire	19
II.8.1. Avantages	19
II.8.2. Inconvénients	20
II.9. Premiers pas et développements récents	21
II.10. Projets de Centrales à Cheminée Solaire	23
II.10.1. Le prototype de Manzanares	23
II.10.2. Projet australien (Buronga)	24
II.10.3. Le projet espagnol	26
II.10.4. Le projet namibien	26
II.11 Aperçu bibliographique sur les essais expérimentaux	26

### **Chapitre III : CONCEPTION ET RÉALISATION**

III.1. Introduction	33
III.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla)	33
III.3. Les différentes étapes de la conception et la réalisation de la cheminée solaire	34
III.3. 1. Le support de la cheminée	34
III.3. 2. La plaque absorbante	34
III.3. 3. L'isolation thermique	35
III.3. 4. Le cadre du collecteur	35
III.3. 5. Le collecteur	36
III.3. 6. La cheminée	36
III.4. Instruments de mesure utilisés	37
III.4.1. Appareil de mesure du rayonnement solaire global	37
III.4.2. Appareil de mesure de la température ambiante	37
III.4.3. Appareil de mesure de qualité d'air	37
III.4.4. Appareil de mesure de la température	38
III.5. Emplacement des thermocouples et du capteur de vitesse	38

### **Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

IV.1. Introduction	41
IV.1. Description du problème	41
IV.2. Résultats en fonction de la première variante :	42

IV.2.1.L'effet de l'épaisseur de la lame d'air (cheminée=400 cm)	42
IV.2.2.L'effet de l'épaisseur de la lame d'air (cheminée=300 cm)	43
IV.2.3.L'effet de diamètre de la cheminée (lame d'air= 5 cm)	46
Conclusion Générale	48
Référence	
Résumé	
Annexe	

## Liste des figures

Fig. I.1	Augmentation de la température moyenne globale depuis l'ère industrielle	5
Fig. I.2	Consommation mondiale d'énergie primaire	7
Fig. I.3	Répartition de l'énergie finale mondiale en 2006 selon les sources d'énergie (données calculées à partir de Keyworld Energy Statistics, 2008, Agence internationale de l'énergie)(Ngô, 2008)	8
Fig. I.4	Part des énergies fossiles et renouvelables dans la production d'électricité dans les pays arabes nord africains. Source: Observ'ER, 2008	9
Fig. I.5	Cartographie d'irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal : (a) Au mois de Juillet ; (b) Au mois de Décembre	10
Fig. II.1	Schéma d'une centrale cheminée solaire	12
Fig. II.2	principe de fonctionnement de la cheminée solaire	13
Fig. II.3	Vue intérieure du collecteur solaire	14
Fig. II.4	Cheminée du prototype d'espagnol	15
Fig. II.5	Turbine éolienne du prototype de Manzanares (Espagne)	15
Fig. II.6	Système de stockage de la chaleur dans le collecteur	16
Fig. II.7	Projet de moteur solaire proposé par Isidoro Cabanyes	21
Fig. II.8	La cheminée solaire présentée par Bernard Dubos	21
Fig. II.9	cheminée solaire dans le désert marocain	22
Fig. II.10	Proposition d'une cheminée solaire	22
Fig. II.11	Prototype de Manzanares en Espagne	23
Fig. II.12	La Cheminée Solaire Australienne	25
Fig. II.13	Schéma du prototype de Sherif et al	27
Fig. II.14	Image du prototype de Zhou et al	27
Fig. II.15	Schéma du prototype de Botswana	28
Fig. II.16	Image du prototype de Ferreira et al	28
Fig. II.17	Image du prototype de Koyun et al	29
Fig. II.18	Image du prototype de Golder	29

Fig. II.19	Cheminée solaire de Téhéran	30
Fig. II.20	Diagramme numérique de température pour les entrées de collecteur de 6, 8 et 12 cm à la hauteur de 2m de la cheminée et de diamètre de la cheminée de 20cm	30
Fig. II.21	Distribution de vitesse numérique pour les entrées de collecteur de 6, 8 et 12 cm à la hauteur de la cheminée de 2m et de diamètre de la cheminée de 20cm	31
Fig. II.22	Prototype Cheminée Solaire	31
Fig. III.1	Le support de la cheminée	34
Fig. III.2	La plaque absorbante	34
Fig. III.3	L'isolation thermique	35
Fig. III.4	Le cadre du collecteur	35
Fig. III.5	Le collecteur	36
Fig. III.6	La cheminée	36
Fig. III.7	Polarimètre	37
Fig. III.8	Hygromètre de type Testo 608-H1	37
Fig. III.9	Thermo-anémomètre à fil chaud (type CA 1051)	37
Fig. III.10	Humidity/Temp. Meter	38
Fig. III.11	Boite de 12 voies	38
Fig. III.12	Emplacement des thermocouples et du capteur de vitesse	39
Fig. III.13	Prototype réalisé de la Cheminée Solaire	39
Fig. IV.1	Géométrie tridimensionnelle de la cheminée solaire	41
Fig. IV.2	Variation de la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée en fonction du temps pour les cas (5,10 et 15 cm)	42
Fig. IV.3	Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la cheminée en fonction du temps	43
Fig. IV.4	Variations des vitesses d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée en fonction du temps pour les entrées (5,10 et 15 cm)	44
Fig. IV.5	Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour les différentes configurations	45
Fig. IV.6	Variation des vitesses à l'entrée de la cheminée (400 cm) en fonction du temps pour les diamètres $d=11$ cm et $d=16$ cm	46
Fig. IV.7	Variation des vitesses à l'entrée de la cheminée (300 cm) en fonction du temps pour les diamètres $d=11$ cm et $d=16$ cm.	46

## Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
$P$	La puissance produite par une cheminée solaire	W
$\eta_{turb}$	Rendement de turbine	
$\eta_{coll}$	Rendement du collecteur	
$\eta_{chem}$	Rendement de la cheminée	
$\dot{Q}_{solaire}$	L'énergie solaire absorbée	W
$G_h$	Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal	W/m <sup>2</sup>
$A_{coll}$	Surface totale du collecteur	m <sup>2</sup>
$\Delta p_c$	Différence de pression	N/m
$v_{max}$	Vitesse maximale d'écoulement	m/s
$H_c$	Hauteur de la cheminée	m
$\dot{m}_{air}$	Débit massique d'air	kg/s
$\Delta T$	Différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de collecteur	°C
$T_a$	Température ambiante de lieu considéré	°C
$C_{p,air}$	Capacité thermique de l'air	J/kg K
$\lambda$	conductivité thermique	W/m.K
$C_p$	capacité thermique massique	J/g.K
T sort chim	Température de l'air à la sortie de la cheminée	°C
T abs mil	Température au milieu de l'absorbeur	°C
T mil	Température de l'air au milieu du collecteur	°C
T abs	Température de l'absorbeur	°C
T vitre	Température de la face interne du vitrage	°C
T ent col	Température de l'air à l'entrée du collecteur	°C
T ent chim	Température de l'air à l'entrée de la cheminée	°C
Ray	Eclairement solaire	W/m <sup>2</sup>



## Introduction générale

L'énergie est indispensable pour nos activités économiques et dans les multiples aspects de notre vie quotidienne. Cette énergie est principalement utilisée dans trois secteurs principaux : habitat, transport et l'industrie. Dans chacun des secteurs l'énergie est consommée essentiellement sous forme thermique (chaleur ou froid) ou sous forme d'électricité. Le développement économique, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement (à une moindre mesure) est directement lié à l'énergie. Ainsi, la demande énergétique mondiale augmente constamment, ceci est dû à deux raisons : l'accroissement rapide de la population avec près de 200 000 hommes supplémentaires par jour, l'augmentation de notre niveau de confort (climatisation, chauffage, électroménagers, transport, ordinateurs, éclairage, etc.) et l'émergence des nouveaux pays industrialisés très peuplés (la Chine, l'Inde, le Brésil, l'Afrique de Sud, etc.) et dont le niveau de vie s'améliore. [1]

La demande énergétique mondiale est actuellement de l'ordre de 12,5 Gtep (giga tonne d'équivalent pétrole) et, selon les scénarios, elle pourrait être contenue dans une fourchette allant de 20 à 25 Gtep à l'horizon 2050. En parallèle, les quantités de CO<sub>2</sub> générées annuellement s'établissent aujourd'hui à près de 6,5 Gt : elles sont à l'origine, par les mécanismes naturels mis en jeu, d'une accumulation de 3 GtC (giga tonne de carbone) par an dans l'atmosphère. Cette situation conduirait à un accroissement sensible de la température moyenne à la surface de la terre entre 1,5 °C et 5,8 °C d'ici 2100. Ceci représente une augmentation sans précédent qui s'accompagnerait en particulier de la montée du niveau des mers de 20 cm à 1m. [2]

Compte tenu de l'épuisement et le coût des énergies utilisées actuellement, et du constat établi par les experts, il est devenu urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre pour stopper le changement climatique, de ce fait il est nécessaire de trouver des nouvelles sources d'énergies propres et gratuites c'est-à-dire des énergies renouvelables. Dans le contexte actuel, l'énergie solaire est une alternative la plus intéressante et la plus avantageuse.

La conversion d'énergie solaire à la forme électrique se présente sous différentes formes: photovoltaïque, cheminée solaire...Etc.

La centrale cheminée solaire (CCS) est un dispositif économique pour la production de l'électricité solaire.

Le sud algérien présente un gisement solaire important, ce qui nous conduit à donner notre contribution dans l'installation d'une cheminée solaire dans notre région.

Mais toujours l'augmentation de l'efficacité de production de la cheminée solaire fait l'objet de plusieurs études, et parmi les paramètres affectant l'efficacité de la cheminée solaire sont les dimensions, à savoir : la hauteur de cheminée, le diamètre de collecteur, le diamètre de cheminée et la hauteur de toit de collecteur.

Dans le but de donner une vision réel sur le fonctionnement et d'améliorer le rendement d'une cheminée solaire, nous avons établi un prototype d'une cheminée solaire pour examiner l'influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de production de la cheminée solaire, tels que : le diamètre et la hauteur de la cheminée aussi la hauteur du toit du collecteur.

L'étude de l'effet de ces paramètres sur la production électrique de cheminée solaire sera déjà un intérêt sur l'amélioration de la conception de cet équipement pour une production plus de l'énergie.

Le travail sera présenté comme suit :

En plus d'une introduction générale. Un premier chapitre, qui est un aperçu sur l'impact de l'énergie primaire et les conséquences du gaspillage de cette source ombilicale, sur le changement climatique ressenti dans le monde entier, les causes et les conséquences fatales dues à l'obsession de l'homme moderne, dans le monde, détaille l'urgence aux recours aux énergies renouvelables avec toutes ses branches, notamment l'énergie solaire, pour remédier au mal déjà fait et préserver le peu de richesse fossile qui reste, pour les générations futures.

Ensuite, un deuxième chapitre, présente une étude bibliographique approfondie, qui nous a permis d'avoir une vision plus complète sur le phénomène que nous proposons d'étudier. Cette recherche bibliographique concerne les études théoriques, numériques et expérimentales des écoulements dans les cheminées solaires, nous a permis donc de faire une vision sur les études approfondies et nous a donné la possibilité de valider certains résultats de notre étude.

Après avoir décrit la cheminée solaire, un troisième chapitre, illustre les différentes étapes que nous avons suivies pour réaliser notre cheminée.

Dans le quatrième chapitre, on a présenté et commenté nos résultats.

Enfin une conclusion qui résume les résultats obtenus dans notre travail réalisé avec quelques recommandations.

# *Chapitre 01*

---

Contexte et enjeux

---

## **I.1. Aperçu historique sur l'énergie:**

Depuis toujours, l'homme a consommé de l'énergie. Cette consommation était relativement linéaire et l'origine presque exclusivement renouvelable (biomasse, énergie hydroélectrique, énergie animale, ...) jusqu' à la révolution industrielle, entre 1760 et le milieu du 19ème siècle. C'est durant cette période, marquée par des développements industriels toujours plus énergivores, que l'essor des énergies fossiles (essentiellement le charbon à l'époque) a vu le jour. Leur consommation commença alors à augmenter de façon exponentielle. La découverte du charbon, si abondant dans la nature et les avancées technologiques dans son utilisation sont à l'origine de la révolution industrielle. La prospérité et l'expansion post-industrielle de l'après-guerre sont indéniablement liées à l'usage du pétrole et puis après le gaz naturel. L'un de ses fruits ; l'énergie électrique. [3]

Une grande proportion de l'électricité produite dans le monde provient du charbon et du gaz naturel et ceci pour plus d'un siècle. L'électricité est la forme « première » de l'énergie, grâce à la facilité de son usage et de sa distribution. La demande est en croissance permanente, due à l'usage de plus en plus grand d'appareils électriques et électroniques par les consommateurs, par l'augmentation de l'activité industrielle associée et par son élargissement au monde entier.

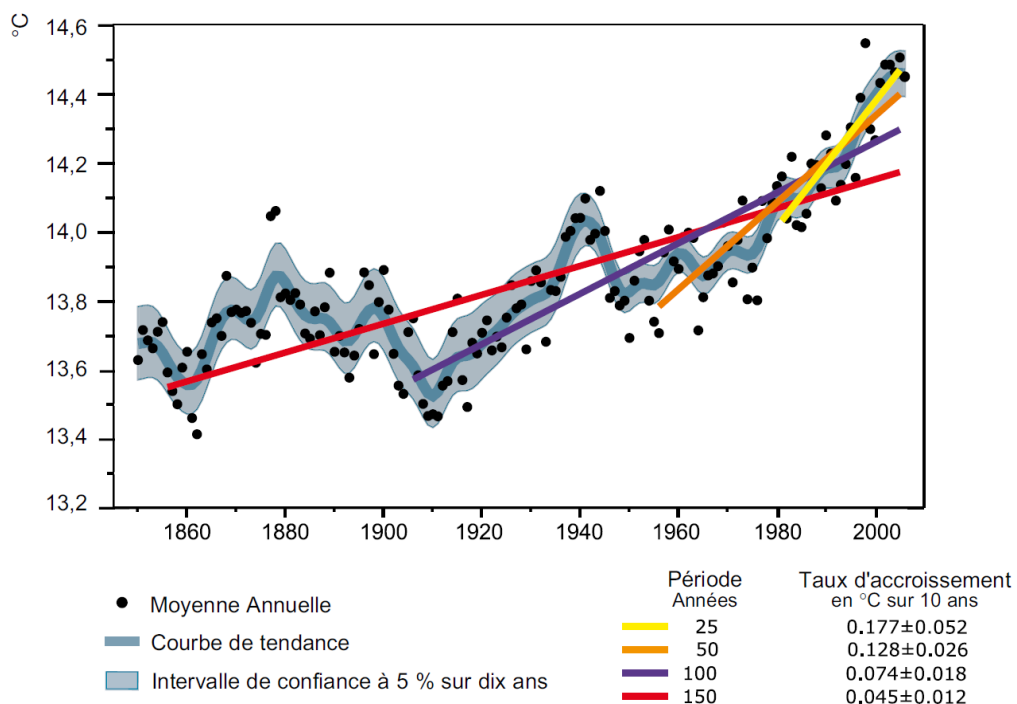
Pour l'homme moderne, le rêve de domination de la nature s'est traduit essentiellement par une tension obsessionnelle vers une production et une consommation toujours plus grandes et plus excessives. Extraire de la nature un maximum de bien-être matériel a été, et demeure pour une large part, l'idéal des sociétés industrielles et a fortiori des pays en développement. Chacun dès lors garde les yeux rivés sur le taux de croissance du produit intérieur brut (PIB), qui de simple indicateur économique est devenu une véritable religion, l'idole des temps modernes.

Malheureusement, avec la révolution industrielle, l'économie va s'affirmer comme science mécaniste, désincarnée de la nature et d'un homme réduit à l'état d'homo économiques. En perdant toute référence éthique, l'économie se coupe des motivations de conservation, de solidarité et de transmission aux générations futures d'un patrimoine naturel. [3]

## **I.2. Contexte climatique:**

### **I.2.1. Problèmes climatiques:**

Le réchauffement climatique de l'atmosphère n'est pas un phénomène local, cette augmentation est généralisée à tous les continents avec des variations plus ou moins importantes. En effet, les mesures de la température globale moyenne à la surface de la Terre montrent qu'il y a un réchauffement d'environ 1 °C depuis 1850 (début de l'ère industrielle). Comme on peut le voir sur la **Fig. I .1**, le taux d'accroissement augmente de plus en plus. Si sur 150 ans il est seulement de 0,045 °C·an<sup>-1</sup>, il atteint pour ces 25 dernières années une valeur de 0,177 °C·an<sup>-1</sup>. [5]



**Fig. I.1:** Augmentation de la température moyenne globale depuis l'ère industrielle [5]

### **I.2.2. Le réchauffement climatique:**

En 1896, Svante August Arrhenius est le premier à proposer une théorie reliant l'augmentation de la température terrestre à celle du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère à cause de « l'effet de serre » : les gaz composants l'atmosphère laissent passer le rayonnement solaire mais absorbent et réfléchissent le rayonnement infrarouge provenant de la Terre, réchauffant ainsi l'atmosphère et la Terre en retour. Cet effet de serre est naturel et contribue au cycle des glaciations. Les principaux gaz responsables de l'effet de serre, appelés GES pour Gaz à Effet de Serre, sont : la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et l'ozone (O<sub>3</sub>).

Or, depuis la révolution industrielle, l'homme produit de plus en plus de GES, naturels ou non (gaz fluorés). Cet excédent de GES dégagé a rapidement été désigné comme le principal

facteur du réchauffement climatique que nous connaissons depuis la fin des années 50. Les principaux GES d'origine anthropique sont :

- le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) produit par la combustion des énergies fossiles et la déforestation tropicale ;
- le méthane (CH<sub>4</sub>) qui provient des décharges, de l'agriculture, des élevages, des procédés industriels et de la fonte du pergélisol ;
- le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) provenant de l'agriculture, des procédés industriels et des engrais ;
- les hydrofluorocarbures (HFC), perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) qui proviennent principalement des sprays, des procédés de réfrigération et de la fonte de l'aluminium. [2]

### **I.3. Enjeux énergétiques:**

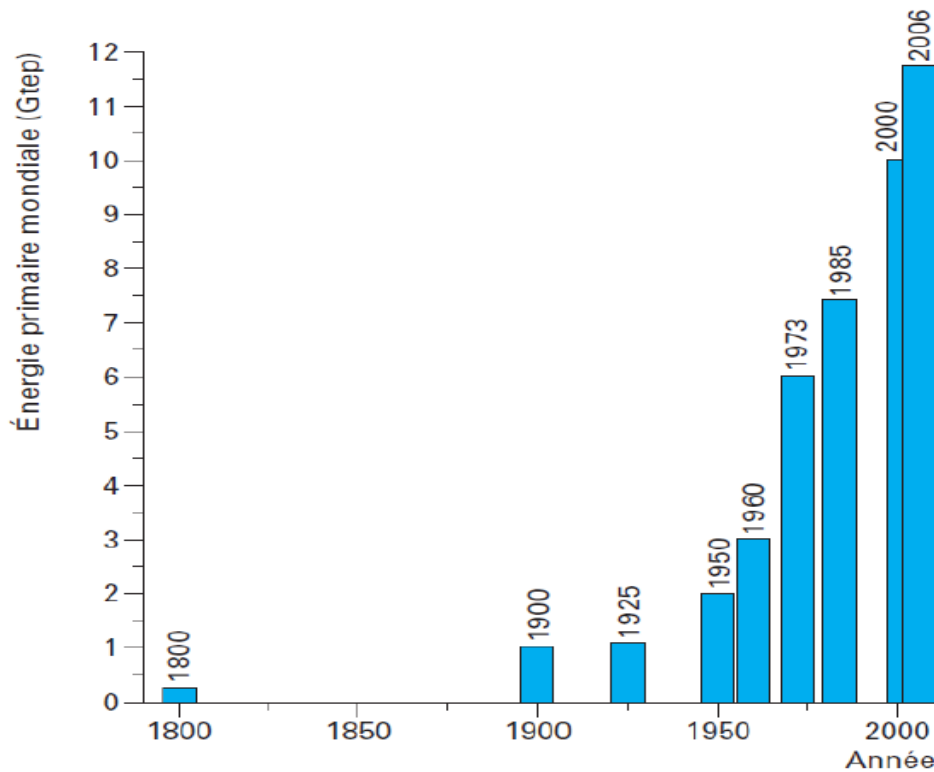
Comme démontré précédemment, la lutte contre le réchauffement climatique et la réduction des émissions de GES sont devenues un enjeu politique majeur qui vise à la réduction de la consommation d'énergies fossiles. [4]

#### **I.3.1. Demandes et défis énergétiques:**

##### **I.3.1.1. Une demande croissante d'énergie:**

L'énergie est indispensable pour nos activités économiques et dans les multiples aspects de notre vie quotidienne. Cette énergie est principalement utilisée dans trois secteurs principaux : habitat, transport et l'industrie. Dans chacun des secteurs l'énergie est consommée essentiellement sous forme thermique (chaleur ou froid) ou sous forme d'électricité. Le développement économique, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement (à une moindre mesure) est directement lié à l'énergie. Ainsi, la demande énergétique mondiale augmente constamment, ceci est dû à deux raisons :

- L'accroissement rapide de la population avec près de 200 000 hommes supplémentaires par jours.
- L'augmentation de notre niveau de confort (climatisation, chauffage, électroménagers, transport, ordinateurs, éclairage, etc.) et l'émergence des nouveaux pays industrialisés très peuplés (la Chine, l'Inde, le Brésil, l'Afrique de Sud, etc.) et dont le niveau de vie s'améliore. La **Figure. I .2** donne un aperçu de l'évolution de la consommation mondiale en énergie primaire pour des années choisies arbitrairement : la consommation entre 1900 et 2000 a quasiment été multipliée par 10 alors que la population n'a été multipliée que par 4. La cause vient évidemment de l'élévation du niveau de vie et de la démocratisation de l'accès au confort. Ainsi aujourd'hui, la consommation en énergie primaire, majoritairement d'énergie fossile (pétrole, gaz naturel, charbon), s'élève à une dizaine de Gtep (1 tep = 42 x 10<sup>9</sup> joules). [2]



**Fig. I .2:** Consommation mondiale d'énergie primaire (données de Wikipédia) [2]

Cependant, cette exploitation massive et croissante des énergies fossiles présente des limites. Certaines régions ont élaboré des alternatives depuis plusieurs années car elles ne disposent pas (ou plus) de ces ressources à l'origine d'un fort rendement. D'autre part, ces combustibles fossiles sont des ressources épuisables, ce qui a entraîné (pour une partie) la hausse des prix des combustibles fossiles qui sont dorénavant difficile à se procurer d'un point de vue économique. Enfin, cette exploitation contribue à une émission massive de gaz à effet de serre dans l'atmosphère qui contribue à l'augmentation de la température de la planète Terre et le dérèglement climatique. Cette dernière conséquence mérite un peu plus d'attention. [2]

### **I.3.1.2. Défi énergétique:**

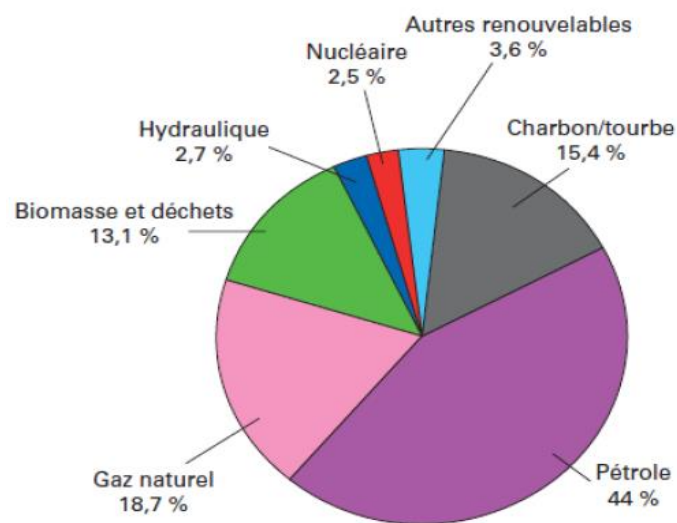
Les objectifs ciblés sont multiples et diverses:

- contribuer à l'approvisionnement dans le monde d'une énergie propre (décarbonée) et durable ; les énergies renouvelables,
- veiller à la préservation du patrimoine naturel (ressources, climat et environnement),
- introduire de manière importante sur le marché les énergies renouvelables,
- assurer une formation commune sur les énergies renouvelables pour assurer une continuité dans leurs utilisations et leurs développements. [2]

### **I.3.2. Les énergies renouvelables:**

Contrairement à ce que l'on appelle parfois « énergies nouvelles », l'exploitation des énergies renouvelables n'est pas récente. D'ailleurs, elles ont été utilisées pendant une période plus longue que les combustibles fossiles, c'est-à-dire depuis que les premiers hommes ont exploité le bois pour se réchauffer et cuire la nourriture. L'exploitation massive et majoritaire des combustibles fossiles existe depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle pour des raisons économiques et est en partie responsable de l'augmentation de la population mondiale.

Ainsi de nos jours, comme en donne un aperçu la Figure I.3, dans le mixte énergétique les énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolienne, biomasse...) occupent une place moins importante que les combustibles fossiles. [2]



**Fig. I .3:** Répartition de l'énergie finale mondiale en 2006 selon les sources d'énergie (données calculées à partir de Keyworld Energy Statistics, 2008, Agence internationale de l'énergie). [2]

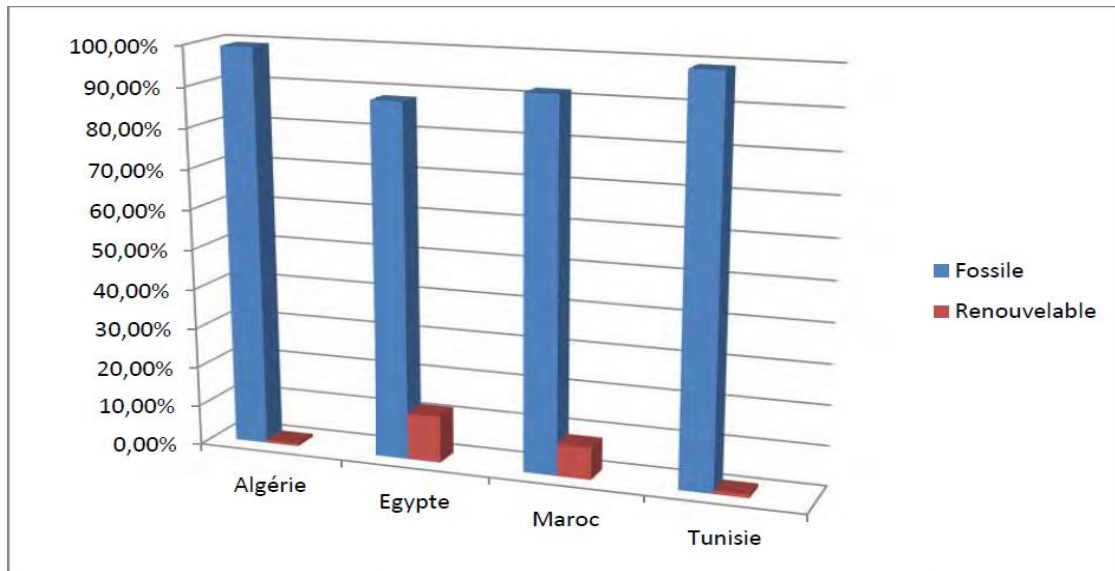
#### **I.3.2.1. Le potentiel des Energies Renouvelables en Algérie :**

L'objectif de la stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie est d'arriver à atteindre, à l'horizon 2017 (le niveau de 5% dans le bilan électrique national). L'introduction des énergies renouvelables aura pour conséquence:

- une plus grande exploitation du potentiel disponible,
- une meilleure contribution à la réduction de CO<sub>2</sub>,
- une réduction de la part des énergies fossiles dans le bilan énergétique national,
- un développement de l'industrie nationale,
- la création d'emplois.



Dans les pays d'Afrique du Nord (**Fig. I .4**), la production d'électricité est principalement basée sur les combustibles fossiles. L'Algérie présente la plus faible part d'énergies renouvelables (hydraulique) dans la structure de sa production électrique, plus de 99% de la production totale d'électricité provient des combustibles fossiles. Le peu qui reste (0,7%) provient des énergies renouvelables qui se résument pratiquement à une production hydroélectrique. [3]



**Fig. I .4:** Part des énergies fossiles et renouvelables dans la production d'électricité dans les pays arabes nord africains. [3]

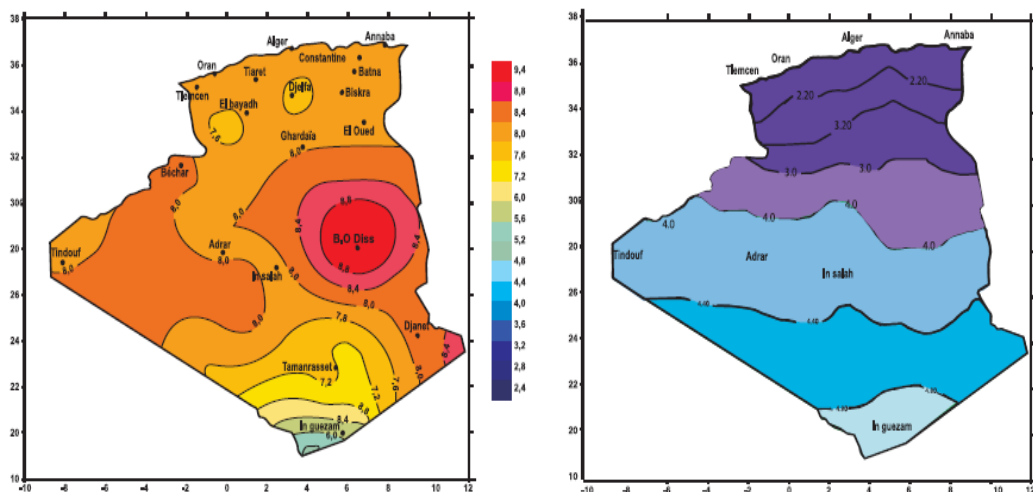
En raison des importantes sources d'énergie fossiles dont le pays dispose et de l'absence de politiques environnementales, le développement des énergies renouvelables a connu beaucoup de retard. Selon le Ministère de l'Energie et des Mines, la capacité nationale d'électricité dépasse les 8400 MW avec 2,4 MW crête seulement pour des énergies renouvelables (Année 2007). Aujourd'hui, compte tenu des enjeux que représentent ces sources d'énergies durables, leur promotion constitue un des grands axes de la politique énergétique et environnementale du pays. D'autre part, l'Algérie possède des atouts majeurs: un potentiel considérable des énergies renouvelables et une politique énergétique favorisant une contribution plus conséquente des énergies renouvelables dans le bilan national. Plusieurs projets ont été réalisés (électrification de plusieurs villages, production d'eau chaude sanitaire,...etc.). Quant à l'utilisation du solaire thermique pour la production d'électricité, un projet d'une centrale hybride solaire-gaz (150 MW) située à Hassi R'mel est en cours de réalisation. Pour la filière éolienne, le peu de projets réalisés concernent l'installation de pompes éoliennes. En plus, Un projet d'une ferme éolienne de 10 MW à Adrar est en cours d'étude. La stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie vise à porter la part des énergies renouvelables, à l'horizon 2015, à environ 5% de la production nationale d'électricité. [3]

**I.3.2.1.1. POTENTIEL SOLAIRE:**

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 Kwh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 KWh/m<sup>2</sup>/an au sud du pays (Fig. I.5). [6]

**Tableau I.1:** le potentiel solaire en Algérie [6]

régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m2/an)	1700	1900	2650



**Fig. I.5:** Cartographie d'irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal :

(a) Au mois de Juillet ; (b) Au mois de Décembre. [13]

# *Chapitre 02*

---

Les Centrales à Cheminée Solaire:

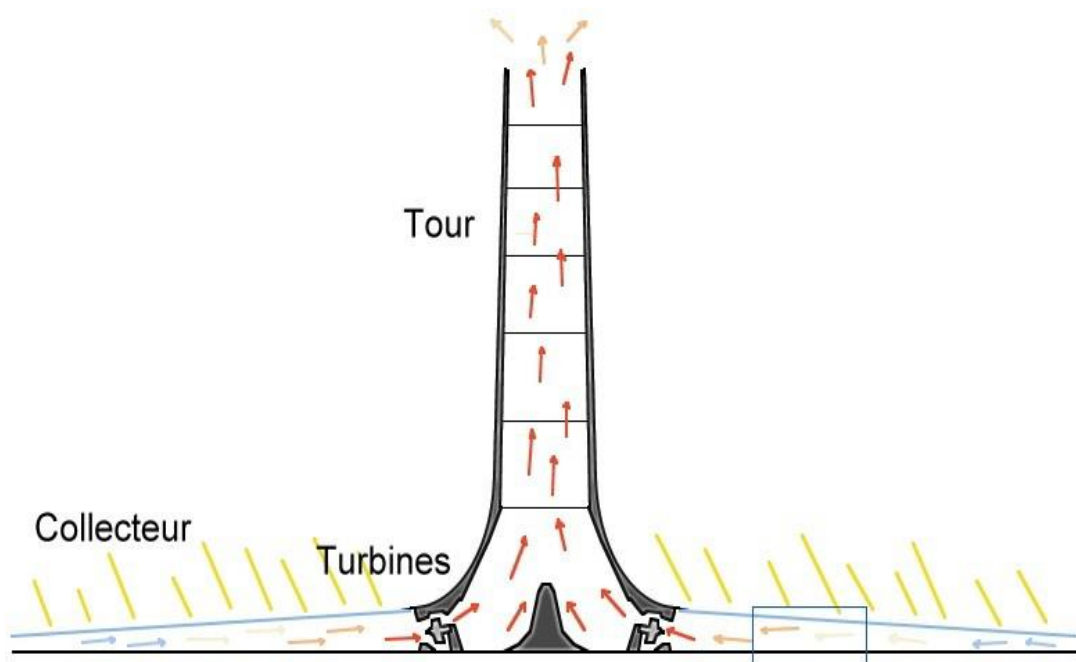
Développements et avancements

---

## **II.1. Introduction:**

La plus grande partie de l'électricité consommée dans le monde aujourd'hui est produite à partir de ressources fossiles. Or, beaucoup d'estimations indiquent qu'à la consommation actuelle, les réserves de pétrole, de gaz naturel et de charbon vont s'épuiser dans le siècle à venir. Il est donc temps de trouver d'autres moyens de produire de l'électricité. Le solaire, l'hydroélectricité, la géothermie, la bioénergie et l'éolien sont des technologies matures, prêtes à relever le défi, au fil de la prise de conscience de tous et chacun. Dans le contexte actuel, l'énergie solaire est une alternative la plus intéressante et la plus avantageuse, la conversion d'énergie solaire à la forme électrique se présente sous différentes formes: photovoltaïque, cheminée solaire...etc.

La centrale cheminée solaire (CCS) est un dispositif économique pour la production de l'électricité solaire.



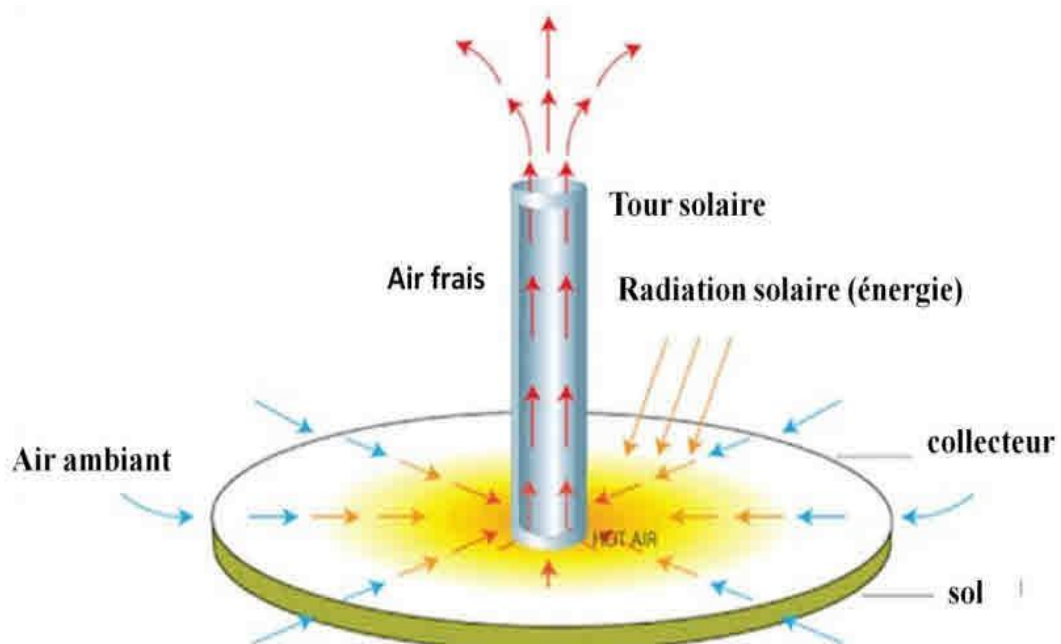
**Fig. II .1:** Schéma d'une centrale cheminée solaire [10]

## II.2. Historique:

La CCS a été proposée pour la première fois par Cabanyes [7], et ensuite décrite dans une publication par Günter [19]. Depuis 1975, plusieurs brevets ont été accordés à Lucier en Australie, au Canada, en Israël et aux Etats-Unis [20]. Schlaich a également présenté cette technologie dans un congrès en 1978 [21], pour concevoir et construire, par la suite, avec ses coéquipiers le premier prototype d'une CCS à Manzanares en Espagne entre 1981 et 1982 [22,23]. Ce prototype doté d'une tour de 194.6 m de hauteur, d'un collecteur de 244 m de diamètre et d'une turbine à rotor unique à quatre pales, orientée verticalement, installée à la base de la tour. Ce prototype a fonctionné jusqu'à 1989 en produisant une puissance maximale de 50 kW [23,24], en vérifiant ainsi la faisabilité et la praticabilité des CCS. Depuis lors, des études numériques, analytiques et expérimentales ont été multipliées pour bien comprendre le comportement des cheminées solaires dans le but de construire des prototypes qui réalisent le meilleur rendement en matière de production de l'électricité.

## II.3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire :

Le principe de la cheminée solaire est illustré dans la **figure (2)**: Le collecteur est ouvert à la périphérie, l'air frais qui s'écoule à travers cette ouverture sera chauffé par les rayons solaires sous l'effet de serre, où la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur produit un gradient de la masse volumique de l'air interne qui se relève et produire un vent artificiel qui tourne une turbine éolienne posée dans la trajectoire de l'écoulement de l'air est convertir l'énergie cinétique en énergie mécanique, et le générateur, entraîné par la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. [8]



**Fig. II .2:** principe de fonctionnement de la cheminée solaire [12]

## **II.4. Principaux éléments de la cheminée solaire:**

### **II.4.1. Collecteur :**

Un toit en verre ou en film plastique et la terre naturelle en dessous forment un collecteur d'air. Le collecteur est ouvert à la périphérie pour permettre l'introduction de l'air frais. Le toit du collecteur (qui est supporté quelques mètres au-dessus de la terre) a pour but de rassembler les rayons solaires pour réchauffer la masse d'air à l'intérieur du collecteur. Donc l'ensemble du collecteur fonctionne sous le principe de la serre qui est appliquée dans l'agriculture où on l'appelle la serre agricole. Au milieu du collecteur, est placée une cheminée verticale avec un joint étanche entre sa base et le toit. La hauteur de toit augmente au voisinage de la base de cheminée, afin que l'air soit détourné en mouvement vertical. Il est avantageux d'augmenter la capacité du toit de collecteur, en fournissant un double vitrage près de la cheminée. [25]



**Fig. II .3:** Vue intérieure du collecteur solaire [25]

### **II.4.2. Cheminée :**

La cheminée elle-même est le moteur réel de l'équipement .Pour créer un écoulement d'air sous forme de vent, il faut engendrer une différence de pression.

Il faut que la hauteur de la cheminée soit plus élevée, pour atteindre un niveau de basse pression par rapport au niveau de la base. Donc la pression de l'air à la sortie de la cheminée est inférieure à celle d'entrée, ce qui augmente la vitesse d'élévation verticale de l'air chaud dans la cheminée.

La base est fixée sur la terre par des supports, qui séparent entre les entrées de l'air, ce qui permet d'augmenter la vitesse d'écoulement .La cheminée est généralement construite en béton armé. [25]



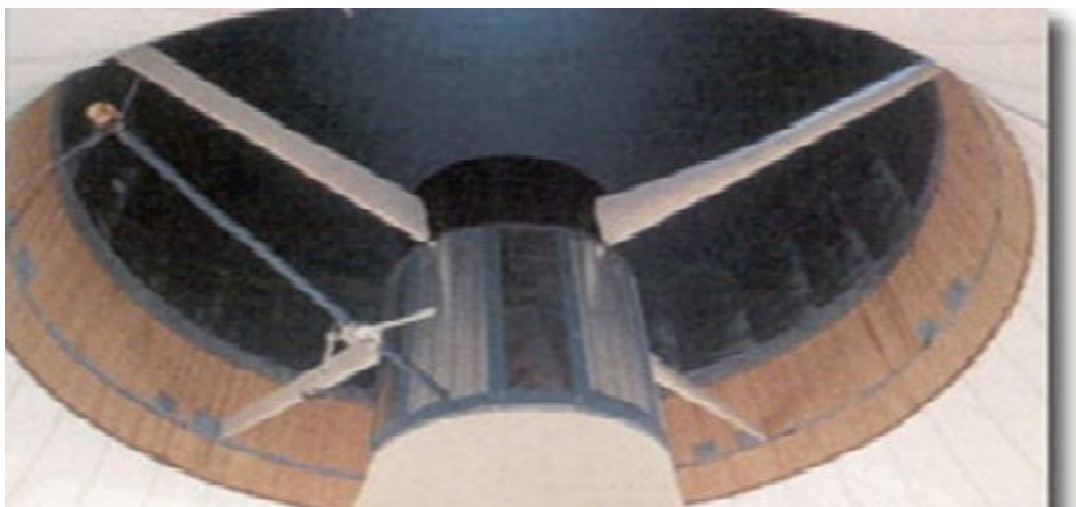
**Fig. II .4:** Cheminée du prototype d'espagnol [25]

#### **II.4.3.Turbine éolienne :**

Les turbines sont toujours placées à la base de la cheminée où la vitesse d'écoulement d'air est plus élevée, pour transformer le maximum d'énergie cinétique en énergie mécanique.

Le générateur entraîné par la turbine transforme l'énergie mécanique en énergie électrique .

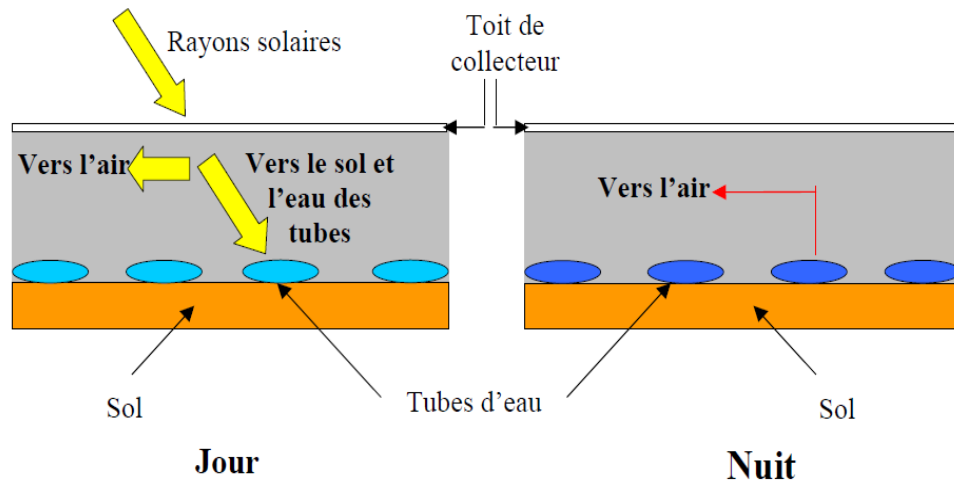
Le nombre de turbines utilisées est soit une turbine dont les pales couvrent la coupe transversale de la cheminée, soit de petites turbines distribuées sur toute la section de la cheminée. Mais il est aussi possible d'arranger entre la verrière et la base de la cheminée un grand nombre de petites turbines avec des axes horizontaux à la périphérie de la section du passage. [25]



**Fig. II .5:** Turbine éolienne du prototype de Manzanares (Espagne) [25]

## **II.5. Le système de stockage:**

Le stockage de l'énergie est assuré par des tubes remplis d'eau, à partir d'une source géothermique, et disposés sur le sol de manière uniforme dans l'espace du collecteur.



**Fig. II .6:** Système de stockage de la chaleur dans le collecteur [10]

Le transfert de chaleur entre l'eau contenue dans les tubes et l'air est beaucoup plus important que celui entre le sol et l'air. Ceci s'explique par la forte capacité calorifique de l'eau ( $C_p= 4.2 \text{ kJ/kg}$ ), comparée à celle du sol ( $C_p=0.75\text{-}0.85 \text{ kJ/kg}$ ). L'eau à l'intérieur des tubes peut stocker de la chaleur à partir des radiations solaires le jour et la libère pendant les premières heures d'absence de radiations à l'air se dirigeant vers la cheminée. [10]

## **II.6. Les différents phénomènes intervenants dans la cheminée solaire:**

### **II.6.1. L'effet Venturi:**

L'effet Venturi est le nom donné à un phénomène également lié à la dynamique des fluides. La dynamique des fluides concerne un espace dans lequel se trouvent des fluides, et où il y a formation d'une dépression. Celle-ci a lieu dans une zone où les particules des fluides sont accélérées. Cela s'explique par le principe selon lequel, l'énergie doit être conservée. De ce fait, l'augmentation d'énergie cinétique (la vitesse), entraîne une diminution de l'énergie élastique (la pression), c'est-à-dire une dépression. [11]

### **II.6.2. L'effet de serre :**

Le collecteur de la cheminée solaire est en verre ou plastique qui est transparent au rayonnement de courte longueur d'ondes, mais opaque au rayonnement infrarouge (I.R), (de grande longueur d'ondes), permettant de réaliser un effet de serre. [11]



### **II.6.3. L'effet de convection naturelle :**

Quand l'air est chaud, il s'élève et la pression diminue : il y a une dépression. Au contraire, l'air froid descend, la pression augmente : il y a un anticyclone. Entre deux cellules d'air de pression différentes, un vent se crée et va de l'anticyclone vers la dépression. Les particules chaudes sont plus légères que les particules froides, et cherchent à les atteindre : ces particules se dilatent sous l'effet de la chaleur, et sont ainsi moins denses (donc plus légères). [11]

### **II.6.4. L'effet d'ovalisation :**

A été contré dans la tour solaire grâce à des structures circulaires disposées à intervalles réguliers dans la tour, sinon elle se replierait sur elle-même.

Pour contrer l'effet d'ovalisation de la tour (qui la replierait sur elle-même aussi facilement qu'un cylindre de papier mouillé posé sur une table, vu son incroyable légèreté), la société d'ingénierie SBP, responsable du projet, a eu l'idée de placer dans la tour à intervalles réguliers des structures de maintien ressemblant aux rayons d'une roue de bicyclette. Elles ne diminuent que de 2% la vitesse de l'air. [11]

### **II.6.5. Stockage d'énergie :**

La production d'énergie persiste aussi la nuit : des cylindres de couleur opaque, remplis d'eau, captent la chaleur durant la journée et la libèrent durant la nuit. [11]

## **II.7. Analyse thermodynamique:**

### **II.7.1. Puissance électrique produite par la cheminée solaire:**

La puissance produite par une cheminée solaire peut être calculée comme l'énergie solaire rapportée au système multiplié par le rendement du collecteur, la cheminée et la turbine(s) respectivement [12]:

$$P = \dot{Q}_{solaire} \eta_{coll} \eta_{chem} \eta_{turb} \quad (II.1)$$

Où  $\dot{Q}_{solaire}$  représente l'énergie solaire absorbée (W)

L'énergie solaire rapportée au système est écrite en fonction de l'éclairement solaire globale sur un plan horizontal et la surface du collecteur :

$$\dot{Q}_{solaire} = G_h A_{coll} \quad (II.2)$$

$G_h$  Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal (W/m<sup>2</sup>)

$A_{coll}$  Surface totale du collecteur (m<sup>2</sup>)

Le rendement de la cheminée est alors exprimé par le rapport de la puissance d'air sur la quantité de chaleur absorbée dans le collecteur :

$$\eta_{chem} = \frac{P_{tot}}{\dot{Q}} \quad (II.3)$$

$P_{tot}$ , représente la puissance totale d'écoulement (W), dépend de la chute de pression dans la cheminée. L'énergie contenue dans l'écoulement d'air égale à :

$$P_{tot} = \Delta p_c v_{max} A_{coll} \quad (II.4)$$

$\Delta p_c$  Différence de pression (N/m)

$v_{max}$  Vitesse maximale d'écoulement (m/s)

Le changement de pression dans la cheminée est lié à la variation de la flottabilité dans l'air chauffé:

$$\Delta p = (\rho_{atm} - \rho_{chem}) g H_c \quad (II.5)$$

$H_c$  Hauteur de la cheminée (m)

Sans turbine, un débit maximal d'air est relié avec une vitesse de sortie maximale, et la différence de pression est utilisée pour accélérer l'air (converti en énergie cinétique) :

$$P_{tot} = 1/2 \dot{m}_{air} v_{max}^2 \quad (II.6)$$

$\dot{m}_{air}$  Débit massique d'air (kg/s)

Sans turbine, un débit maximal d'air est relié avec une vitesse de sortie maximale, et la différence de pression est utilisée pour accélérer l'air (converti en énergie cinétique) :

$$P_{tot} = 1/2 \dot{m}_{air} v_{max}^2 \quad (II.6)$$

$\dot{m}_{air}$  Débit massique d'air (kg/s)

$$(\rho_{atm} - \rho_{chem}) g H_c v_{max} A_{coll} = 1/2 \dot{m} v_{max}^2 \quad (II.7)$$

On tire l'expression de la vitesse maximale d'écoulement  $v_{max}$ :

$$v_{max} = \sqrt{2 g H_c \frac{\rho_{atm} - \rho_{chem}}{\rho}} \quad (II.8)$$

En utilisant l'approximation de Boussinesq et la loi des gaz parfaits, l'expression de la vitesse maximale se simplifie à :

$$v_{max} = \sqrt{2 g H_c \frac{\Delta T}{T_a}} \quad (\text{II.9})$$

$\Delta T$  Différence de température de l'air à l'entrée et à la sortie de collecteur (°C)

$T_a$  Température ambiante de lieu considéré (°C)

Combinant ceci avec notre seconde expression de la puissance d'écoulement (II.4), nous pouvons constater que le rendement de la cheminée est :

$$\eta_{chem} = \frac{g H_c}{c_{p,air} T_a} \quad (\text{II.10})$$

$c_{p,air}$  Capacité thermique de l'air (J/kg K)

A partir des équations développées (II.2) et (II.10), la puissance totale générée par la cheminée solaire est :

$$P = G_h A_{coll} \frac{g H_c}{c_{p,air} T_a} \eta_{coll} \eta_{turb} \quad (\text{II.11})$$

Ainsi, la puissance générée par la cheminée solaire est proportionnelle à la surface de collecteur et à la hauteur de la cheminée, donc elle est proportionnelle au volume de cylindre avec une base égale à la surface de collecteur et d'une hauteur égale à celle de la cheminée.

La puissance maximale est réalisée quand la chute de pression dans la turbine égale à deux tiers de toute la différence de pression disponible :

$$P_{el-max} = G_h A_{coll} \frac{2}{3} \frac{g H_c}{c_{p,air} T_a} \eta_{coll} \eta_{turb} \quad (\text{II.12})$$

## **II.8. Avantages et inconvénients de la cheminée solaire :**

### **II.8.1. Avantages:**

- Les centrales électriques de cheminée solaires utilisent la radiation solaire (direct et diffus), donc peut fonctionner dans les conditions nuageuses. [13]
- Les Cheminées Solaires sont particulièrement adaptées à la production d'électricité dans les déserts et les terres arides sans valeur, mais riches en soleil. [14]
- La production d'énergie électrique perdure jour et nuit (des cylindres remplis d'eau et de couleur opaque captent la chaleur le jour et la libèrent la nuit). [11]

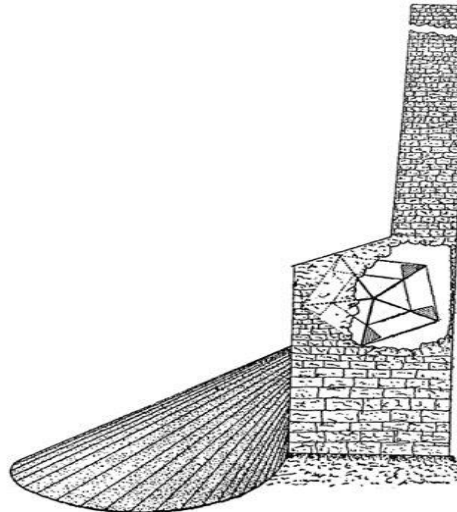
- Elles ne nécessitent pas d'eau de refroidissement et sont adaptées à des régions où règne une sécheresse extrême (pour mémoire, même les centrales solaires à concentration CSP ont besoin d'eau comme source froide. [14])
- Les matériaux nécessaires à la construction d'une Cheminée Solaire: béton, verre et acier, sont disponibles en quantités suffisantes partout dans le monde. [14]
- Leur construction ne provoque pas de dommages écologiques et peut employer la main d'œuvre locale. [14]
- Vue de la robustesse de sa structure, la cheminée solaire n'a pas besoin d'un grand entretien et fonctionne naturellement. Elle n'exige pas des carburants non renouvelables pour le fonctionnement et ne produit pas n'importe quelles émissions. [9]
- Elle a une longue durée de vie (au moins 80 à 100 ans). La technologie d'une centrale électrique de cheminée solaire ne deviendra pas périmée facilement. [9]
- Des plantations peuvent être créées sous le collecteur. [11]
- Plus de sécurité par rapport au nucléaire surtout à l'heure actuelle. [11]

### **II.8.2. Inconvénients:**

- Quelques estimations disent que les coûts d'investissement pour la production d'électricité à partir de Cheminées Solaires est 5 fois plus important que celui à partir d'une turbine à Gaz. Bien qu'aucun carburant fossile ne soit nécessaire les investissements nécessaires pour une Tour Solaire sont importants. [14]
- Elle ne peut pas concurrencer le nucléaire en termes de puissance. (7 fois moins puissante qu'un réacteur nucléaire, pour les plus grandes tours, soit 200MW contre 1500MW) [11]
- Investissement de départ [11]
- La production n'est pas constante pendant le jour ou l'année. [13]
- La structure elle-même est massive et requiert beaucoup d'expertise en ingénierie et de matériaux pour sa construction. [14]

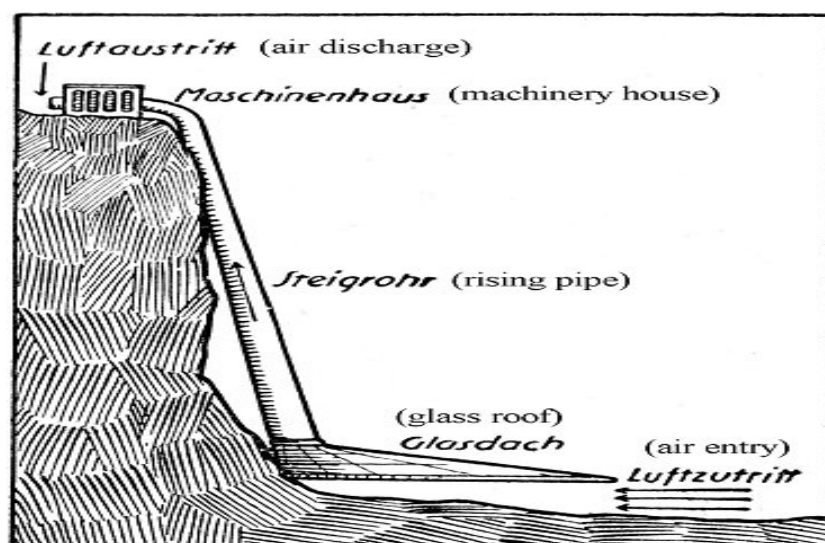
## II.9. Premiers pas et développements récents:

Une des premières descriptions d'une centrale cheminée solaire a été écrite en 1903 par **Isidoro Cabanyes**, un colonel d'artillerie espagnole. Il a communiqué la proposition « *Proyecto de motor solar* » (projet de moteur solaire), la présentation d'un appareil se composant d'un chauffage aérien attaché à une maison avec une cheminée. Dans l'intérieur de la maison, une sorte d'hélice de vent a été placée avec le but de production d'électricité, comme montré dans la **Fig. II .7**. [26]



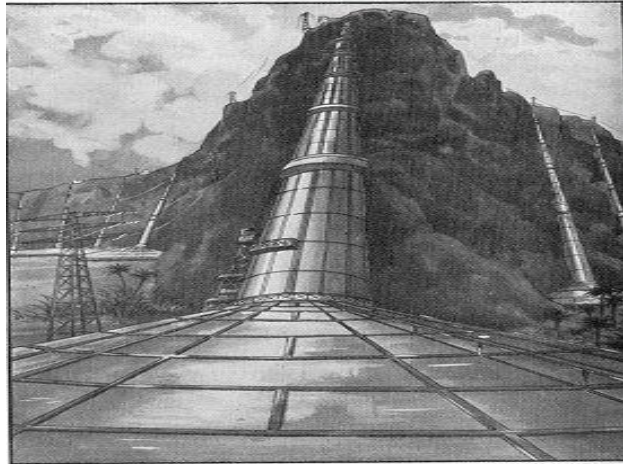
**Fig. II .7:** Projet de moteur solaire proposé par **Isidoro Cabanyes**. [26]

En 1926, le professeur ingénieur Bernard Dubos a proposé à l'académie française des sciences, la construction d'une centrale aéro-électrique solaire en Afrique du Nord avec sa cheminée solaire sur le versant de la montagne de grande hauteur, (**Fig. II .8**). [26]



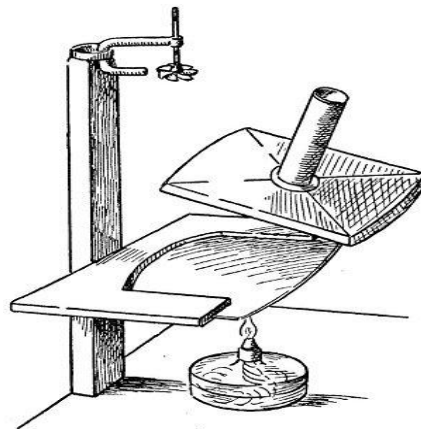
**Fig. II .8:** La cheminée solaire présentée par **Bernard Dubos**. [26]

L'auteur affirme qu'un air ascendant d'une vitesse de 50 m/s peut être atteint dans la cheminée, dont une quantité énorme d'énergie peut être extraite par des éoliennes. L'une des premières représentations d'une tour solaire a été rédigée en 1931 par un auteur Allemand : **Hanns Günther**. La **Fig. II .9** montre une représentation futuriste de la cheminée solaire présentée par **Günther** (1931). [26]



**Fig. II .9:** cheminée solaire dans le désert marocain. [26]

La **Fig. II .10** montre une expérience simple proposée par **Dubos** confirmant son concept, la plaque et la lampe à alcool représentent le désert du Sahara et la chaleur solaire, respectivement. La petite roue éolienne placée sur le dessus représente les turbines. Si la lampe à alcool est placée sous la plaque, l'air chaud circule de façon concentrique à travers la plaque afin d'atteindre le tube. Par conséquent, le flux ascendant pousse la roue éolienne. [26]



**Fig. II .10:** Proposition d'une cheminée solaire. [26]

Entre 1940 et 1960, le français Edgard Nazare, après avoir observé plusieurs tourbillons de sable (dust devil) dans le sud saharien, et en avoir mesuré les caractéristiques grâce à son déclinomètre-alidade de poche, imagina un dispositif totalement révolutionnaire : la tour à dépression, aujourd'hui appelée tour à vortex.

C'est en 1956 qu'il déposa son premier brevet à Alger. Ce brevet fut redéposé à Paris le 3 août 1964 sous le numéro 1.439.849 (P.V. 983.953). Il s'agissait de générer artificiellement une ascendance atmosphérique tourbillonnaire dans une sorte de tour en forme de tuyère de Laval et d'en récupérer une partie de l'énergie au moyen de turbines.

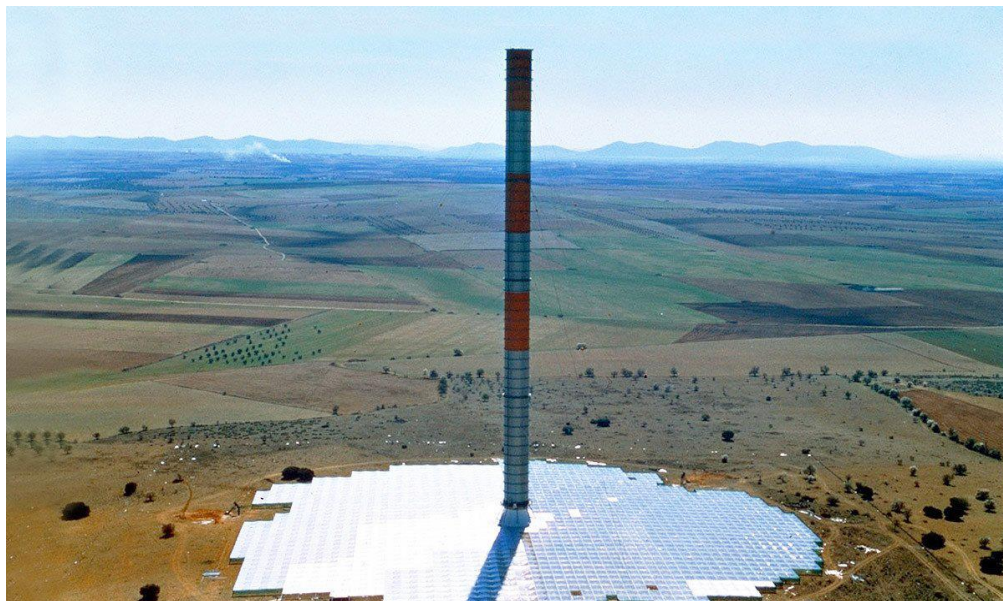
En 1975 l'ingénieur canadien Louis M. Michaud publia son projet Vortex Power Station dans le bulletin de la Société américaine de météorologie. Il s'agissait également de générer une ascendance atmosphérique tourbillonnaire, mais dans une tour cylindrique.

Face à des concepts originaux, la première action exceptionnelle pour le développement des centrales solaires à effet de cheminée était celle d'ériger un prototype en 1982 à Manzanares, Ciudad Real, à 150km au sud de Madrid, Espagne. Sous l'impulsion de crédits et de chercheurs allemands. Ce prototype avait une tour de 200m de haut et un collecteur de 45000 m<sup>2</sup>, et a atteint une production de 44MWh/an, pour une puissance de pointe de 50kW. [26]

## **II.10. Projets de Centrales à Cheminée Solaire:**

### **II.10.1. Le prototype de Manzanares:**

La tour solaire construite en 1982 à Manzanares, en Espagne, sous la direction de l'ingénieur allemand Jörg Schlaich, est jusqu'à présent le seul projet réalisé. Elle restait en service jusqu'en 1989. Sa cheminée consistait en tubes de tôle d'une épaisseur de 1,25 mm, rigidifiés tous les 4 m par des poutres en treillis. Elle était tenue par des câbles en acier. Le prototype a démontré la viabilité technologique du projet. Il était utilisé à des fins de recherche et ne parvenait pas à produire de l'électricité à un prix compétitif. Il a produit pendant 8,8 heures par jour en moyenne. [15]



**Fig. II .11:** Prototype de Manzanares en Espagne. [15]

**Tableau (II.1):** Données du prototype de Manzanares [15]

Hauteur de la tour	194,6 m
Diamètre de la tour	10,16 m
Diamètre du collecteur	244 m
Hauteur moyenne du toit	1,85 m
Différence de température dans le collecteur $\Delta T$	20 °C
Puissance électrique nominale	50 kW
Surface du collecteur en membrane plastique	40 000 m <sup>2</sup>
Surface du collecteur en verre	6 000 m <sup>2</sup>

### **II.10.2. Projet australien (Buronga):**

Le projet le plus ambitieux aujourd'hui est celui de Buronga, en Australie. Il est développé par la société *EnviroMission* en collaboration avec le bureau d'ingénierie civile allemand SBP (*Schlaich Bergemann und Partner*). La centrale aura une tour de 1000 m de hauteur en béton armé et un diamètre du collecteur de 7000 m. Elle devrait fournir 200 MW de puissance électrique. Les coûts d'investissements sont estimés à 400 millions d'euros, ce qui correspond à environ 2 euros par Watt installé.

Comme l'électricité produite par la tour solaire est estimée quatre fois plus chère que celle d'une centrale thermique au charbon, les développeurs d'*EnviroMission* comptent sur les revenus du tourisme, attiré par la plus haute structure du monde, pour rendre l'énergie produite compétitive. [15]





**Fig. II .12:** La Cheminée Solaire Australienne [15]

**Tableau (II.2):** Données du projet de Buronga [15]

Hauteur de la tour	1000 m
Diamètre de la tour	120 m
Diamètre du collecteur	7000 m
Hauteur moyenne du toit	1,85 m
Température de l'air chauffé	70°C
Puissance électrique nominale	200 MW
Puissance nominale des 32 turbines	6,25 MW
Prix de production de l'électricité	0,08 €/kWh
Prix d'investissement	2 €/W

Il semble à présent peu probable que le Projet de Buronga se réalise. La valeur marchande de l'action de l'entreprise à l'Australian Securities Exchange (ASX) est 0,05\$ depuis plus d'un an, selon le site officiel d'*EnviroMission*. Les personnes contactées n'ont pas répondu à nos mails, les travaux, prévus pour 2010, n'ont pas commencés et l'entreprise est apparemment toujours à la recherche d'investisseurs. [15]

### **II.10.3. Le projet espagnol:**

Un autre projet de tour solaire est développé en Espagne dans la localité de *Fuente el Fresno*, un village de la Province de *Ciudad Real*. Les travaux devraient être menés en collaboration avec les entreprises espagnoles *Campo3* et *Imasa*, et la compagnie allemande *Schlaich Bergermann*. Cette tour de 750 mètres de hauteur serait dès lors la plus haute en Europe. [27]

#### **Spécifications du projet:**

- Une cheminée de 750 m de haut.
- Un collecteur de 3km de diamètre, couvrant 350 hectares, dont 250 hectares pourraient être utilisés pour la culture de légumes sous serre (tomates).
- Vitesse de l'air dans la cheminée : 43km/h.
- Puissance de l'installation : 40 mégawatts, soit la demande en électricité d'environ 120 000 personnes.
- Coût du projet : 240 millions d'euros, que les partenaires espéraient réunir en 2007.

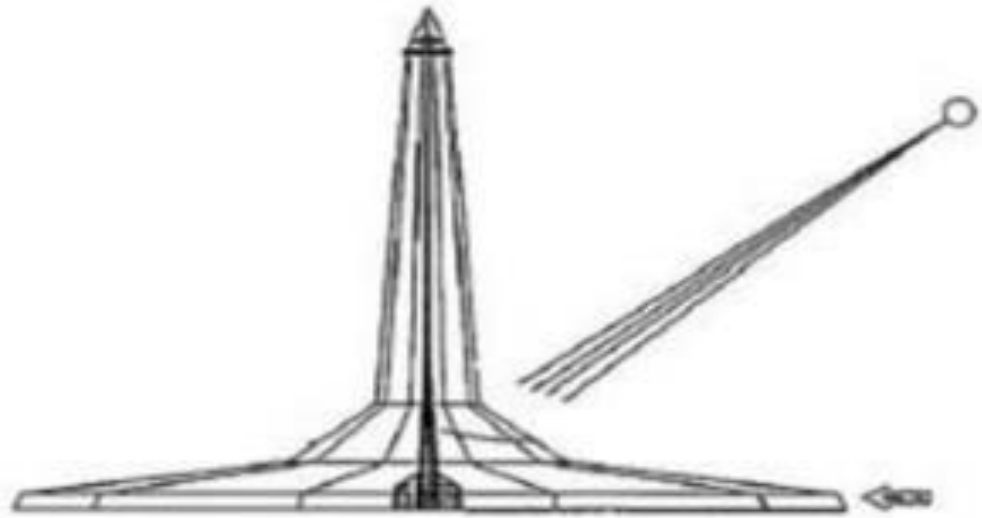
### **II.10.4. Le projet namibien:**

Une société sud-africaine de propriété intellectuelle *Hahn & Hahn* a annoncé qu'elle prévoyait la construction à un coût de 150 millions de dollars US d'une tour solaire de 400 mégawatts en Namibie, dans le cadre des efforts pour combler le déficit de l'approvisionnement en électricité dans ce pays. Cette tour solaire, baptisée *Greentower*, aura une hauteur de 1,5km et un diamètre de 280 mètres et va fonctionner en générant un courant d'air ascendant aux turbines d'entraînement, produisant ainsi 400 MW d'électricité. La superficie de la serre sera de 38,5 km<sup>2</sup> (7 km de diamètre). Le directeur général de *Hahn & Hahn*, a annoncé que le projet avait été approuvé par le gouvernement namibien, en ajoutant que la société nationale de distribution de l'électricité financera en partie une étude de faisabilité. [27]

## **II.11 Aperçu bibliographique sur les essais expérimentaux:**

Dans cette dernière décennie, plusieurs modèles expérimentaux ont été successivement conçus, construits, et examinés, aux quels les structures diffèrent d'une installation à une autre. Le premier prototype d'une CCS est celui de Manzanares en Espagne, composé d'une tour en métal de 0.00125 m d'épaisseur et d'un collecteur de toit en PVC [22]. Ce prototype a été construit dans le but de récolter des mesures sur les champs thermique et dynamique. En 1983, **Krisst** [28] a construit, à West Hartford, Connecticut, USA, un dispositif de 6 m de hauteur doté d'un collecteur de 10 m de diamètre avec une production de 10 W. En 1985, **Kulunk** [29] a réussi à produire 0.14W d'électricité à partir d'un système à échelle réduit, une tour de 2 m et un collecteur de 9 m<sup>2</sup>, à Izmit en Turquie.

En 1997, une CCS (**Fig. II .13**) dotée d'une tour de forme conique de 7.92 m de hauteur et d'un collecteur de 9.15 m de diamètre a été construite par **Pasurmarthi** et **Sherif** en Floride. [30,31]



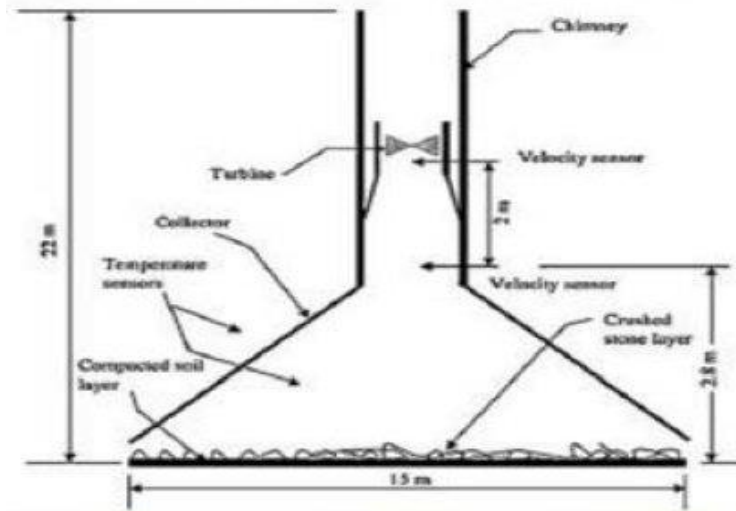
**Fig. II .13:** Schéma du prototype de **Sherif et al.** [30,31]

En 2002, une installation pilote d'une CCS (**Fig. II .14**) composée d'un collecteur d'air de 10 m de diamètre et d'une tour de 8 m de hauteur a été construite à Wuhan en Chine, puis elle a été modifiée en plusieurs reprises. La toute dernière structure est composée d'un collecteur de couvercle en verre de 4.8 millimètres d'épaisseur et d'une tour en PVC. [32,33]



**Fig. II .14:** Image du prototype de **Zhou et al.** [32,33]

Basé sur le besoin d'installations pour des stratégies d'énergie à long terme, le ministère de la science et la technologie de Botswana a conçu et réalisé une installation, pour la recherche, une centrale CCS. La tour, de 22 m de hauteur et 2 m de diamètre, était fabriquée de polyester renforcé par le verre, soutenue par une structure en acier, le toit du collecteur, de 160 m<sup>2</sup> de diamètre et de 5 mm d'épaisseur, a été fabriqué par du verre clair. [34]



**Fig. II .15:** Schéma du prototype de **Botswana**. [34]

Une CCS d'une tour de 11 m de hauteur et d'un collecteur d'un mètre de diamètre (**Fig. II .16**) a été construite dans le campus universitaire de *Universidade Federal de Minas Gerais, à Belo Horizonte, Brazil*. Sa tour est un ensemble de 05 modules en bois de forme cylindrique de 2.2 m de hauteur chacun, couverts intérieurement et extérieurement de fibres de verre. Son collecteur de 25 m de diamètre et de 0.5 m fabriqué en utilisant un film de plastique soutenue par une structure tubulaire en acier. [35,36]



**Fig. II .16:** Image du prototype de **Ferreira et al.** [35,36]

Une autre installation pilote d'une CCS de 15 m de hauteur et d'un collecteur de 16 m de diamètre a été également montée dans le campus de l'université de *Suleyman Demirel*, à *Isparta en Turquie*. [37]



**Fig. II .17:** Image du prototype de **Koyun et al.** [37]

Un petit prototype faisant la combinaison d'un bassin solaire d'approximativement 4.2 m de diamètre et de 1.85 m de profondeur et d'une CCS d'une tour de 8 m de hauteur et de 0.35 m de diamètre (**Fig. II .18**) a été construit par **Golder** dans le campus de l'université de RMIT, à *Bundoora en Australie* en 2002. [38,39]



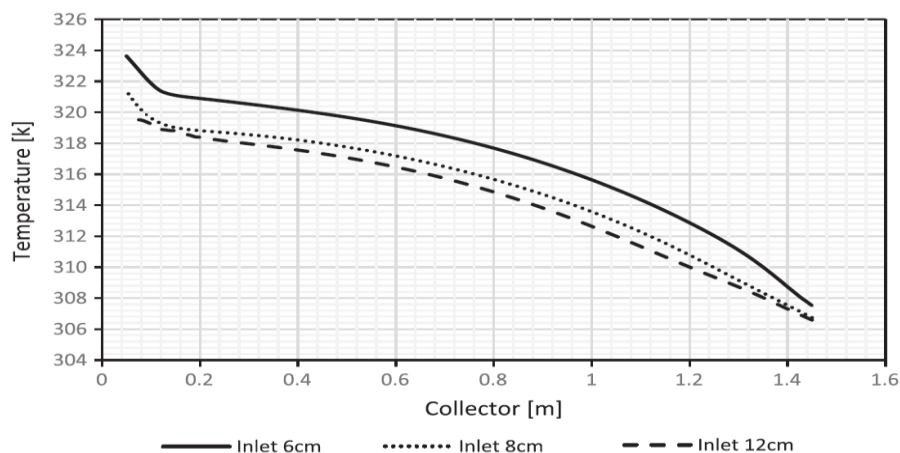
**Fig. II .18:** Image du prototype de **Golder**. [38,39]

une installation pilote d'une CCS (**Fig. II .19**) composée d'un collecteur d'air de 3 m de diamètre et d'une tour de 2 m de hauteur a été construite à , Université de Téhéran, Téhéran, Iran, La hauteur et le rayon de la cheminée sont respectivement de 02 m et 20 cm ; elle est construite à partir de polycarbonate d'une épaisseur de 4 mm et Le diamètre et l'angle du collecteur sont respectivement de 03 m et zéro, des verres ont été utilisés en tant que matériau de toiture du collecteur ; la structure de mise en place a été inclus 17 morceaux de 3x3 d'un profil d'acier. Une combinaison de panneaux d'aggloméré bois avec une épaisseur de 8 mm et d'acier avec une épaisseur de 2 mm ont été utilisés comme absorbeur du collecteur. [17]

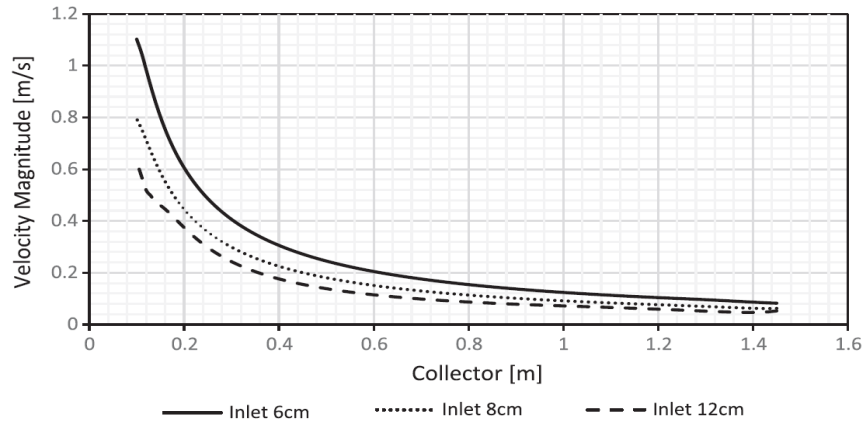


**Fig. II .19:** Cheminée solaire de Téhéran [17]

La distribution de la température et de la vitesse du fluide ont été analysés pour différentes hauteurs d'entrée du collecteur. Les données de sortie du collecteur avec les tailles d'entrée de 6 cm, 8 cm et 12 cm ont données des résultats qui sont présentés dans les figures III-2 et III-3. Les résultats indiquent des maximum de températures de l'air de l'ordre de 323,6k, 321,3k et 319,6k respectivement pour les entrées de collecteur de 6, 8 et 12 cm. [17]



**Fig. II .20:** Diagramme numérique de température pour les entrées de collecteur de 6, 8 et 12 cm à la hauteur de 2m de la cheminée et de diamètre de la cheminée de 20cm. [17]



**Fig. II .21:** Distribution de vitesse numérique pour les entrées de collecteur de 6, 8 et 12 cm à la hauteur de la cheminée de 2m et de diamètre de la cheminée de 20cm. [17]

une installation pilote d'une CCS (**Fig. II .22**) construite à , Université de KASDI MERBAH OUARGLA, La hauteur et le rayon de la cheminée sont respectivement de 02 m et 20 cm ; elle est construite à partir de polycarbonate d'une épaisseur de 4 mm, Le diamètre et l'angle du capteur solaire sont respectivement de 03 m et zéro, des verres ont été utilisés en tant que matériau de toiture du collecteur ; la structure de mise en place a été inclus 17 morceaux de 3x3 d'un profil d'acier, Une combinaison de panneaux d'aggloméré bois avec une épaisseur de 8 mm et d'acier avec une épaisseur de 2 mm ont été utilisés comme absorbeur du collecteur.[18]



**Fig. II .22:** Image du prototype de CHELOUFI. [18]

Les résultats obtenus attestent d'une vitesse d'écoulement à l'entrée de la cheminée très importante, elle est variable au cours de la journée et culmine vers 13h30 -14h00. Les rendements maxi en matière de vitesse d'écoulement sont largement améliorés en fonction des variantes considérées : 0,86 m/s pour la première variante (quatre ouvertures), 1,45m/s (deux ouvertures) et 1.83m/s (une seule ouverture). [18]

# *Chapitre 03*

---

CONCEPTION ET RÉALISATION

---



### **III.1. Introduction:**

L'augmentation de l'efficacité de production de la cheminée solaire fait l'objet de plusieurs études, parmi les paramètres affectant l'efficacité de la cheminée solaire sont les dimensions, à savoir: la hauteur et le diamètre de la cheminée et la hauteur de toit de collecteur aussi la surface de celle-ci. Dans le but d'étudier l'influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de production de la cheminée solaire. Nous avons établi un prototype d'une cheminée solaire conçue et construite dans l'Université de KASDI MERBAH OUARGLA. La répartition des températures et de la vitesse de l'air ont été mesurés et évalués. L'étude de l'effet de ces paramètres sur l'efficacité de production de la cheminée solaire sera déjà un intérêt pour l'amélioration de la conception de cet équipement pour une production plus de l'énergie.

### **III.2. Présentation générale du lieu d'expérimentation (Ouargla):**

La ville d'Ouargla est le chef lieu de la troisième plus grande wilaya d'Algérie en superficie, elle est située au sud-est Algérien, au fond d'une cuvette très large de la vallée de L'OUED M'YA. Elle couvre une superficie totale de 163233 km<sup>2</sup>. Elle se trouve à une altitude de 164 mètres, sa latitude est de 31°57' Nord, sa longitude est de 5° 21'.

Le climat de la wilaya d'Ouargla est du type Saharien, il se caractérise par des faibles températures hivernales et des températures estivales très élevées variant entre 35 et 44°C, d'une faible humidité atmosphérique. Le mois de décembre enregistre le maximum d'humidité tandis que le mois de juillet le minimum; l'humidité dans la région d'Ouargla est limitée entre 24-62% dans l'année. La pluviométrie est faible, elle varie de 20 à 60 mm. Le vent souffle du Nord-est et du Sud, les vents les plus fréquents en hiver sont les vents de l'Ouest, tandis qu'au printemps ce sont les vents du Nord-est et l'Ouest qui dominent, en été ils soufflent du Nord-est et du Sud-ouest. La vitesse moyenne annuelle  $V_{moy} = 3.70 \text{ m/s}$ . L'ensoleillement est considérable à Ouargla, car l'atmosphère présente un ciel clair durant toute l'année avec 138 jours en moyenne de l'année où le ciel est totalement clair, ce facteur est considéré comme avantageux et économique [16].

### **III.3. Les différentes étapes de la conception et la réalisation de la cheminée solaire:**

#### **III.3. 1.Le support de la cheminée :**

Une plateforme octogonale faite à partir de quatre planches d'acier ( $C_p=0.5\text{KJ/Kg.}^\circ\text{C}$  à température ambiante et  $\lambda=71.8\text{ W/m.K}$ ) soudées transversalement entre elles. Au centre et dans les pontes des planches des longs boulons sont soudés afin de fixer le collecteur superposé et le donné des différentes positions en hauteur.



**Fig. III. 1:** Le support de la cheminée

#### **III.3. 2.La plaque absorbante:**

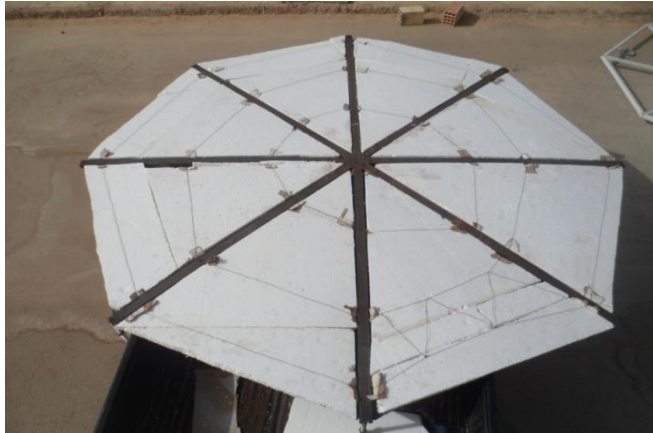
Un cadre métallique d'une forme identique à la plateforme fabriqué en acier, perforé pour s'insérer dans les boulons au centre.



**Fig. III. 2:** La plaque absorbante

### **III.3. 3.L'isolation thermique:**

Base en polystyrène ( $\lambda=0.030\text{W/m.K}$ ) mise au-dessous de la plateforme et de même forme sert comme isolant thermique.



**Fig. III. 3:** L'isolation thermique

### **III.3. 4.Le cadre du collecteur:**

Une plateforme identique à celle du support et doté d'un orifice pour insérer la cheminée. Huit morceaux de verres sont mis en place en tant que matériaux de toiture de collecteur.



**Fig. III. 4:** Le cadre du collecteur

### **III.3. 5.Le collecteur :**

Le collecteur à la forme octogone de 3 m de diamètre et d'une superficie de 6 m<sup>2</sup> est composé de:

1. Une couverture de verre ordinaire de 4 mm d'épaisseur ( $\lambda=1$  W/m.K et le coefficient de transmission thermique  $U = 5,8$  W/m<sup>2</sup>.K), choisi pour ses bonnes qualités physiques et le faible coût.
2. Plaque absorbante d'une superficie de 6 m<sup>2</sup> et de 0.3 mm d'épaisseur, peinte en noir mat pour absorber le maximum de rayonnement solaire global afin de le restituer en forme de chaleur, est responsable du chauffage de l'air.
3. Isolation thermique, d'épaisseur 30 mm faite en polystyrène afin de limiter les pertes thermiques.



**Fig. III. 5:** Le collecteur

### **III.3. 6.La cheminée :**

La cheminée a la capacité d'avoir une hauteur de 4 ou bien 3 mètres et de diamètre soit 110 ou 160 mm fabriquée en PVC ( $\lambda=0.15$  W/m.K à 23°C) et enroulée en laine de verre ( $\lambda=0.04$  W/m.K) pour assurer une isolation thermique optimale. Elle est fixée sur le support on utilisant des tiges métalliques filetées.



**Fig. III. 6:** La cheminée

### **III.4. Instruments de mesure utilisés:**

#### **III.4.1. Appareil de mesure du rayonnement solaire global:**

Il est constitué d'une partie posée sur la vitre, et un appareil électronique qui transforme le rayonnement en une lecture directe sur un petit écran numérique, et donne une valeur réelle du rayon incident sur la vitre en  $W/m^2$ .



**Fig. III. 7:** Polarimètre

#### **III.4.2. Appareil de mesure de la température ambiante:**

C'est un appareil qui est installé à l'air libre à une hauteur entre (1-1.5m) sur la surface de la terre pour mesurer les trois grandeurs: température ambiante, humidité relative et température de rosée, Exactitude de mesure de température ( $\pm 0,5^{\circ}C$ ).



**Fig. II. 8:** Hygromètre de type Testo 608-H1

#### **III.4.3. Appareil de mesure de qualité d'air:**

Les mesures de la vitesse et de la température de l'air et la vitesse du vent sont effectuées à l'aide d'un anémomètre à affichage numérique (type CA 1051), de précision ( $\pm 0.03$  m/s).



**Fig. III. 9:** Thermo-anémomètre à fil chaud (type CA 1051)

### **III.4.4. Appareil de mesure de la température:**

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples placés aux différents endroits de la cheminée solaire. L'ensemble des thermocouples étant reliés à une boîte de 12 voies connectée à un appareil (Lutron HT-3006A) qui permet l'affichage digital des acquisitions, de précision ( $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ ).



**Fig. III. 10:** Humidity/Temp. Meter



**Fig. III.11:** Boite de 12 voies

### **III.5.Emplacement des thermocouples et du capteur de vitesse:**

Les paramètres utiles à notre étude étaient les températures à différents endroits de la maquette et la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée. Pour obtenir ces données, nous avons utilisé plusieurs thermocouples.

Thermocouple 1: Température de l'air à l'entrée du collecteur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Thermocouple 2: Température de l'air au milieu du collecteur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Thermocouple 3: Température de la face interne du vitrage ( $^{\circ}\text{C}$ ).

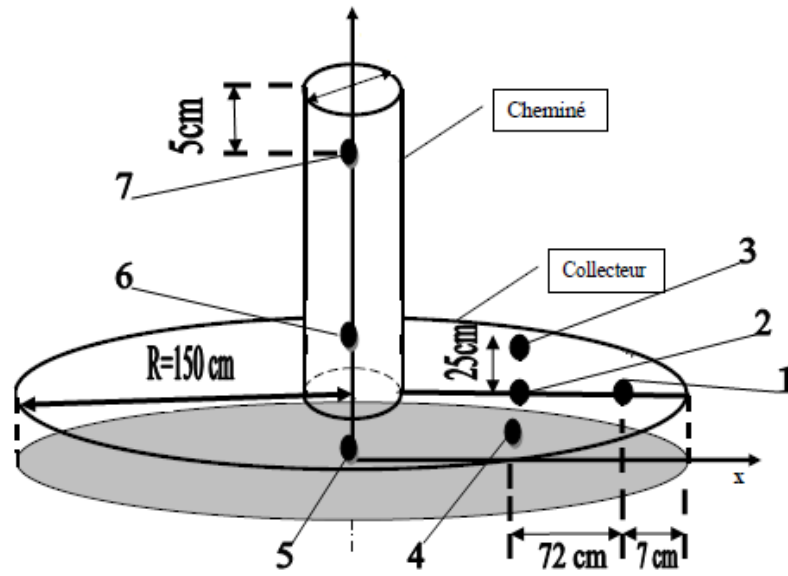
Thermocouple 4: Température de l'absorbeur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Thermocouple 5: Température au milieu de l'absorbeur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Thermocouple 6: Température de l'air à l'entrée de la cheminée ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Thermocouple 7: Température de l'air à la sortie de la cheminée ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Le capteur de vitesse 6: Vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée ( $m/s$ ).



**Fig. III.12 :** Emplacement des thermocouples et du capteur de vitesse

Après avoir rassemblé les différentes parties de la cheminée (**Fig. III.13**), nous avons lancé l'expérimentation et procédé aux différentes mesures prévues.



**Fig. III.13:** Prototype réalisé de la Cheminée Solaire

# *Chapitre 04*

---

Résultats et discussion

---



### IV.1. Introduction:

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'analyse des résultats expérimentaux obtenus en ce qui concerne l'influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de production de la cheminée solaire. Un ensemble des paramètres définissant la taille de la cheminée seront modifiés chaque fois pour voir leur effet sur le rendement de ce dispositif solaire. A travers les contours et les courbes de différentes grandeurs physiques, une discussion et interprétation auront lieu, afin de définir la relation entre les dimensions de la cheminée solaire et son efficacité de production.

### IV.1. Description du problème:

Dans le but d'étudier l'influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de production de la cheminée solaire et l'analyse de l'évolution des grandeurs physiques, telles que la vitesse d'écoulement et la température de l'air en fonction de la variation de ce paramètre. Nous avons établi un prototype d'une cheminée solaire conçue et construite dans l'Université de KASDI MERBAH OUARGLA. La répartition des températures et de la vitesse de l'air ont été mesurés et évalués, et suivi durant huit jours de la fin du mois de Mai. A ce sujet, il faut signaler la coïncidence avec des perturbations atmosphériques essentiellement le vent et le passage des nuages durant une période de la journée.

Pour cette expérimentation, nous avons considéré trois variantes (la hauteur et le diamètre de la cheminée et la hauteur de toit du collecteur) à partir des quelles et par comparaison des résultats nous tirerons des conclusions en matière de performance de la cheminée solaire. Les différentes mesures ont été réalisées de 09h30 à 18h00 avec des pas de temps de 30 minutes.

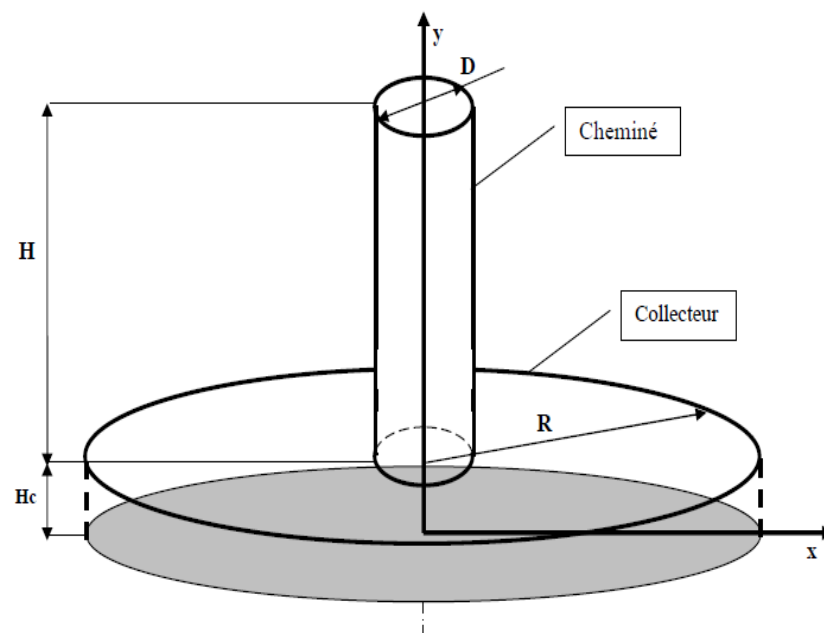
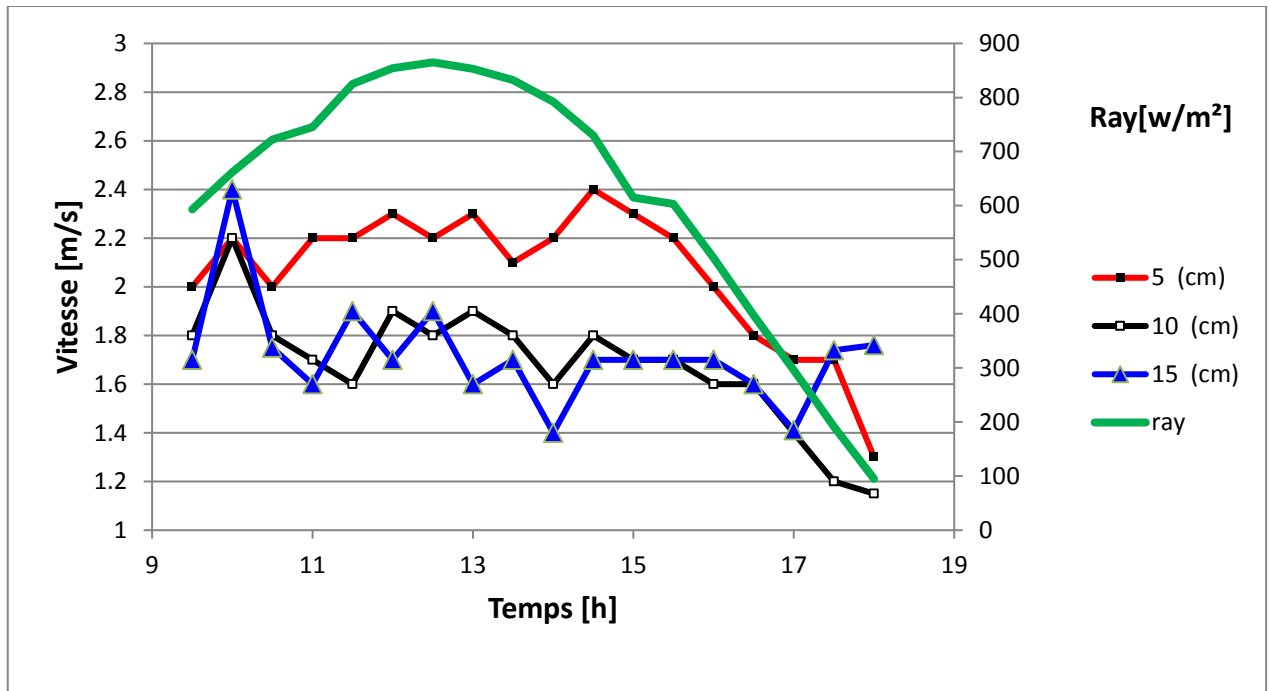


Fig.IV.1:Géométrie tridimensionnelle de la cheminée solaire

### Résultats pour la première variante :

#### ✓ Effet de l'épaisseur de la lame d'air (cheminée=400 cm):

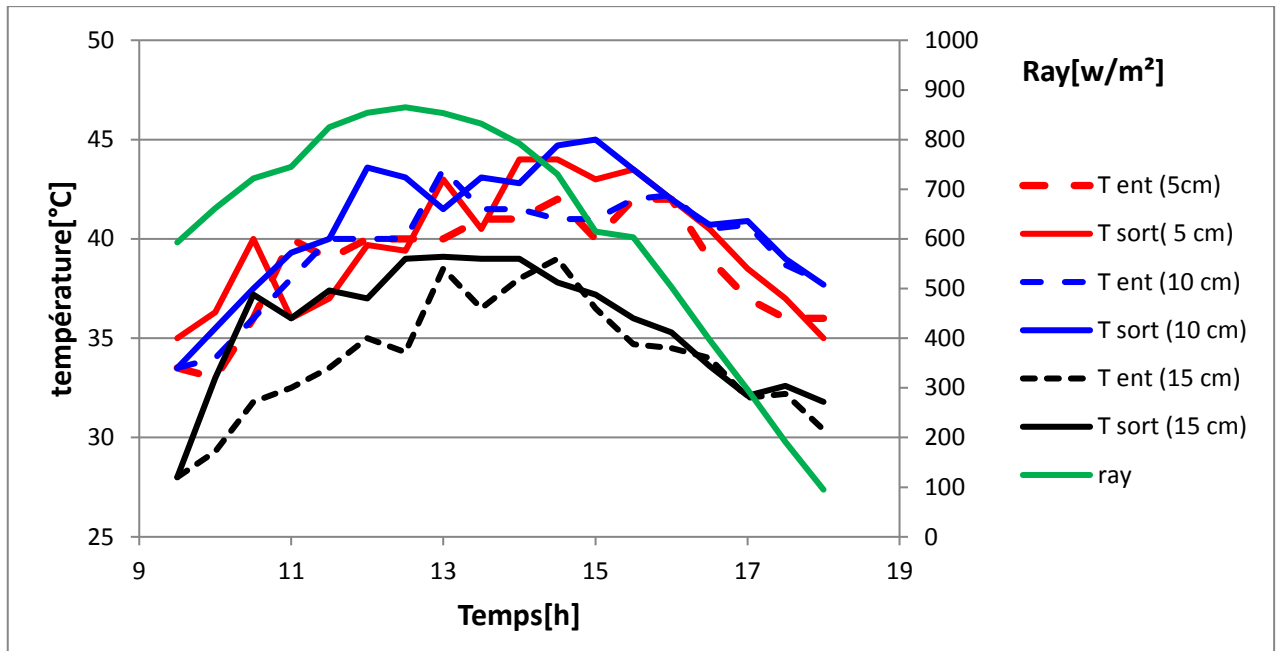
On a fixé la hauteur et le diamètre de la cheminée ( $H=400$  cm,  $D=16$  cm), puis on a changé la hauteur de toit de collecteur entre  $H_{\text{entrée}} = 5$  cm,  $H_{\text{entrée}}=10$  cm et  $H_{\text{entrée}} = 15$  cm. Dans les jours respectivement 8,9 et 16 Mai 2017, les résultats sont :



**FigIV.2:** Variation de la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée en fonction du temps pour les cas (5,10 et 15 cm).

On remarque que la vitesse de l'air pour une hauteur d'entrée égale à ( $H_{\text{entrée}} = 5$  cm) est plus élevée que les autres cas ( $H_{\text{entrée}} = 10$  cm et  $H_{\text{entrée}} = 15$  cm). Les principales raisons sont que dans le premier cas, le débit d'entrée est le plus faible, donc le taux de transfert de chaleur est plus élevé. Où au départ la vitesse d'écoulement prend une valeur de 2m/s à 09h30 et atteindre une valeur maximale de 2.4m/s à 14h30 puis l'on assiste à une régression jusqu'au point final à 18h00 pour atteindre la valeur de 1.3m/s.

Pour les deux autre cas ( $H_{\text{entrée}} = 10$  cm et  $H_{\text{entrée}} = 15$  cm) on remarque les mêmes distributions mais avec des valeurs de vitesse un peu inférieures, aussi des pics à 10h00 dues à l'effet de vent.



FigIV.3: Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la cheminée en fonction du temps.

Dans cette figure on a illustré les variations de la température à l'entrée et à la sortie de la cheminée pour donner une vision sur l'effet de celles-ci sur les variations de la vitesse d'écoulement. Pour ces courbes on à remarquer que dans les plus part des temps les valeurs des températures à l'entrée est toujours inférieures à celles à la sortie de la cheminée.

### ✓ Effet de l'épaisseur de la lame d'air (cheminée=300 cm):

On a fixé la hauteur et le diamètre de la cheminée ( $H=300$  cm,  $D=16$  cm), puis on a changé la hauteur de toit de collecteur entre  $H_{\text{entrée}}=5$  cm,  $H_{\text{entrée}}=10$  cm et  $H_{\text{entrée}}=15$  cm. Dans les jours respectivement 17,18 et 19 Mai 2017, les résultats sont :

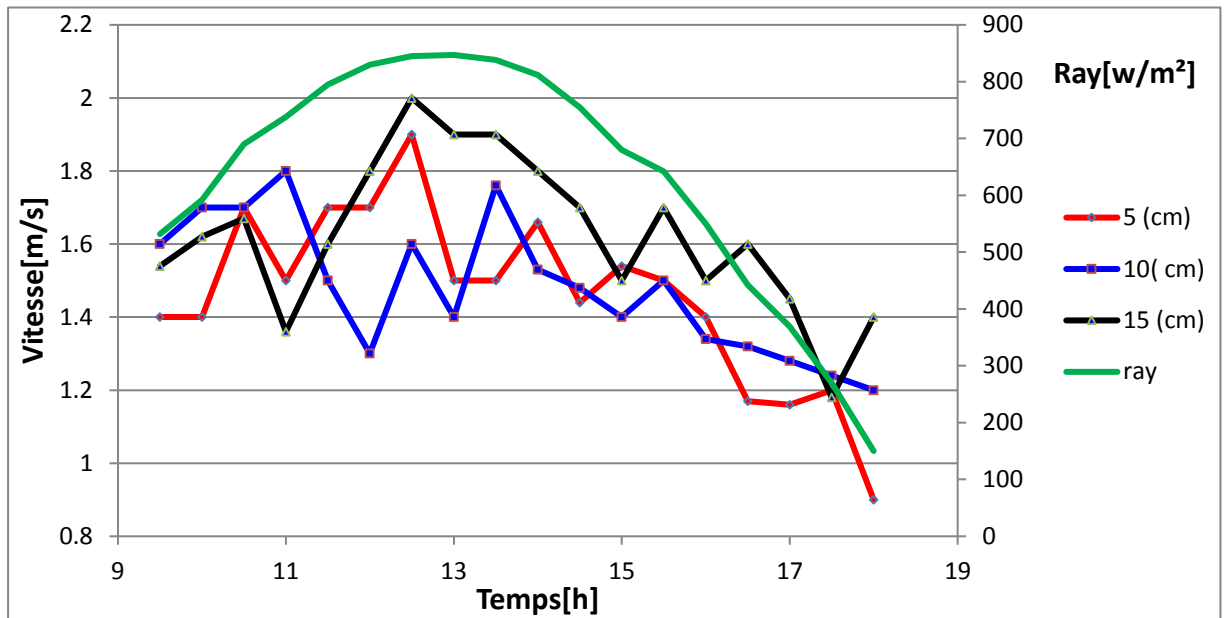


Fig.IV.4: Variations des vitesses d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée en fonction du temps pour les entrées (5,10 et 15 cm).

Pour une hauteur d'entrée égale à 15 cm, l'écoulement à l'entrée de la cheminée commence avec une vitesse de 1.55 m/s au début de l'expérience soit 9h30 et suit une progression jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur maximale de 2m/s à 12h30 puis ce diminue régulièrement jusqu'à la valeur de 1.2m/s à 18h00. Sans oublier l'effet du vent sur cette vitesse parce que cette épaisseur permet le passage du vent au-dessous du collecteur, ce qui explique l'élévation de la vitesse de l'air dans la configuration ( $H_{\text{entrée}}=15$  cm) par rapport aux autres configurations, au contraire dans le premier cas ( $H_{\text{entrée}}=5$  cm) où les vitesses sont plus grandes pour le cas de ( $H_{\text{entrée}}=5$  cm).

En remarque aussi que la valeur maximale de la vitesse à l'entrée de la cheminée avec une hauteur d'entrée ( $H_{\text{entrée}}=5$  cm) est 2.4 m/s pour le cas de ( $H=400$  cm) et prend la valeur de 1.9 m/s pour le cas de ( $H=300$  cm). Ce qui nous a permis de conclure que la vitesse de l'air à l'entrée de cheminée augmente avec l'augmentation de la hauteur de la cheminée de 300 à 400cm.

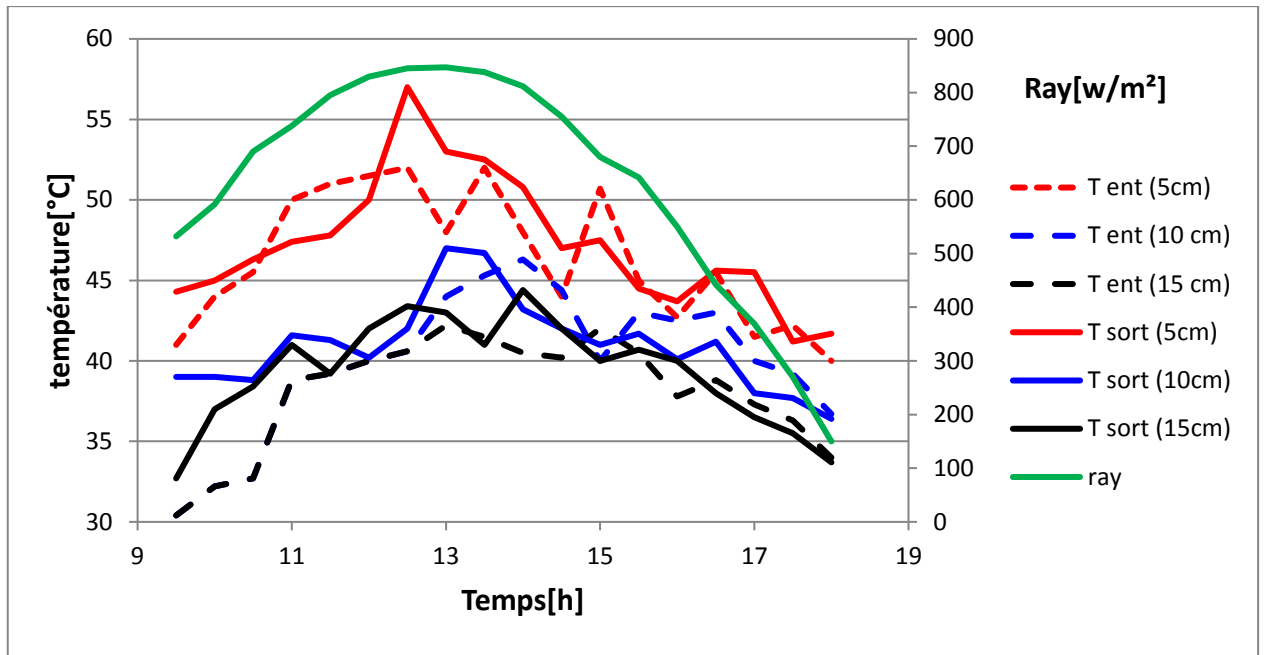


Fig.IV.5 Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour les différentes configurations.

Le niveau de température de l'air pour le premier cas ( $H_{\text{entrée}}=5$  cm) est plus élevé que les autres états ( $H_{\text{entrée}}=10$  cm et  $H_{\text{entrée}}=15$  cm). Cette différence se traduit comme suit; pour une hauteur d'entrée de 5cm le débit d'air à l'entrée est le plus faible, donc le taux de transfert de chaleur entre l'air et l'absorbeur est le plus élevé. D'autre part, le vent n'influe pas puisque l'entrée du collecteur est proche de la fermeture.

✓ **Effet de diamètre de la cheminée (lame d'air= 5 cm):**

Dans ce que suit et pour prendre une vision sur l'effet du diamètre de la cheminée sur les paramètres mesurés on a fixé la hauteur d'entrée à une valeur de ( $H_{\text{entrée}}=5 \text{ cm}$ ) est on a changé le diamètre de la cheminée pour prendre les deux valeurs 11 et 16 cm. Dans les jours respectivement 20,22 Mai 2017, les résultats sont :

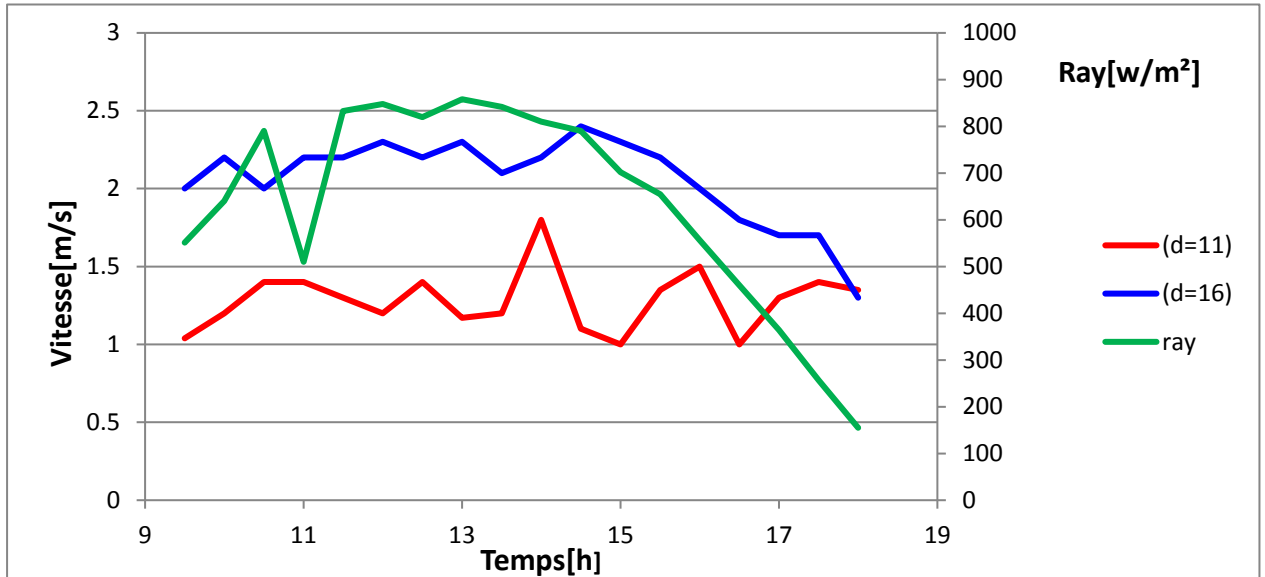


Fig.IV.6 : Variation des vitesses à l'entrée de la cheminée (400 cm) en fonction du temps pour les diamètres  $d=11 \text{ cm}$  et  $d=16 \text{ cm}$ .

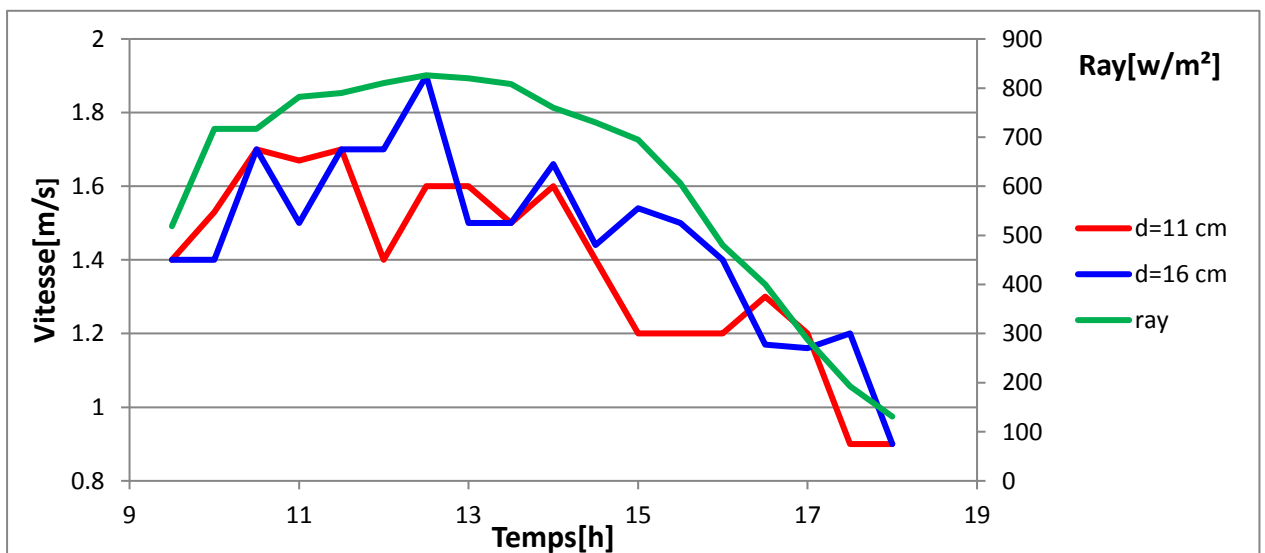


Fig.IV.7 : Variation des vitesses à l'entrée de la cheminée (300 cm) en fonction du temps pour les diamètres  $d=11 \text{ cm}$  et  $d=16 \text{ cm}$ .

Les figures (IV.6) et (IV.7) représenté la variation des vitesses à l'entrée de la cheminée de la hauteur (400 et 300 cm respectivement) en fonction du temps pour les diamètres  $d=11 \text{ cm}$  et  $d=16 \text{ cm}$ , D'après la figure (IV.6), on remarque que la vitesse de l'air à l'entrée de la

cheminée dans le cas de diamètre ( $d=16$  cm) est plus élevée que celle dans le cas de diamètre ( $d=11$  cm).

Par contre dans le cas de cheminée à hauteur de 300 cm les deux courbes de vitesse d'air à l'entrée de cheminée pour les deux différents diamètres de la cheminée, sont relativement proche l'un de l'autre.

Ces résultats nous à donnés une vision générale sur l'effet du diamètre sur l'écoulement dans notre cheminée. On peut conclure a partir ces deux figure que le diamètre de la cheminée n'a pas un effet considérable dans les basses hauteurs de la cheminée.

## Conclusion générale

Pour fonctionner au mieux, une cheminée solaire doit être construite dans une région très ensoleillée et disposant de nombreux espaces inhabités, les endroits les plus favorables se trouvent en Afrique du Nord et principalement au Sahara, au sud de l'Inde, dans le centre de l'Australie et aux Etats-Unis.

Les caractéristiques climatiques du Sahara algérien offrent de très bonnes conditions permettant certainement d'atteindre de bons rendements au niveau d'une cheminée solaire.

La cheminée solaire est un système très simple qui ne nécessite pas une grande technologie pour sa construction, tous ces éléments constituant sont très simples et ne coûtent pas très cher. Les cheminées solaires sont des moyens modernes pour produire de l'énergie électrique sans causer un impact polluant sur l'environnement et sans que le procédé soit lié à une énergie fossile ou temporaire.

Dans cette étude, notre objectif principal été de faire des études expérimentaux sur le comportement d'écoulement de la cheminée solaire par la variation des paramètres géométriques comme de celle-ci comme:

- le diamètre de la cheminée
- la hauteur de la cheminée
- la hauteur du collecteur .

Dans notre étude nous avons cherchés toujours d'atteindre une plus grande vitesse possible d'écoulement au sien de l'entrée de la cheminée afin d'utiliser cette vitesse pour faire tourner une turbine.

Après les expériences firent on a trouvé que

- l'épaisseur de (5 cm) de la lame d'air à l'entrée de collecteur a donné une valeur importante de température au-dessous de collecteur se qui donne la meilleur valeur de vitesse d'air à l'entrée de cheminée par rapport aux autres épaisseurs (10 et 15 cm).
- L'augmentation de la hauteur de cheminé sert à l'augmentation de la vitesse d'air à l'entrée de la cheminée.
- L'augmentation de diamètre de cheminée permet une augmentation de débit massique, ce qui est traduit par l'élévation de productivité en relation proportionnel avec le diamètre de la cheminée



- La vitesse atteindre une valeur maximale égale à 2.4 m/s pour le cas de 4m d'hauteur de la cheminé et d'un diamètre de 16 cm et d'épaisseur d'entrée d'air égale à 5 cm.
- L'intervalle de température dans l'entrée et la sortie de la cheminée est entre 40°C et 55°C

On peut noter comme perspectives:

- Un grand prototype de cheminé solaire est mieux pour bien étudier l'effet des paramètres géométriques de la cheminé solaire puisque le vent influent sur les résultats d'expériences.
- On propose comme solution l'utilisation des obstacles dans l'absorbeur.

## Bibliographie

- [1] Ngô. C, Analyse et perspectives énergétiques mondiales, Technique de l'Ingénieur, BE 8 515, 2008.
- [2] A. LAGHZAOU, D. PEERHOSSAINI, Stockage de chaleur: Energie solaire et autres applications. ECOLE DES MINES DE DOUAI, 2013.
- [3] A. KABOUCHE, Architecture et efficacité énergétique des panneaux solaires, cas d'étude: Simulation sous trnsys16.1 d'un appartement d'une tour multifonctionnelle à Constantine, Mémoire de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2012.
- [4] Christophe Daverat, Etude expérimentale de la convection naturelle en canal vertical a flux de chaleur imposé: Application au rafraîchissement passif de composants actifs de l'enveloppe des bâtiments, INSA de Lyon, 2012.
- [5] Julien Eynard, Gestion optimale de l'énergie dans un procédé multi-source pour le chauffage de bâtiments, Université de Perpignan, 2010.
- [6] Said Bentouba, Aek. Slimani, Med. Seghir. Boucherit, Messaoud Hamouda. L'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement. Journal of Scientific Research, N° 0, vol. 1, 2010.
- [7] I. Cabanyes, '*Las chimeneas solares (Solar chimneys)*', La energia eléctrica. Cited due to Wikipedia; 1903.
- [8] B. Negrou, H. Belahia, B. Dokkar, M. Drid et N. Settou, Conception d'une turbine éolienne installée dans une cheminée solaire, Revue des Energies Renouvelables CISM'08 Oum El Bouaghi, 2008.
- [9] I. Zabat, Etude numérique de l'efficacité dimensionnelle d'une cheminée solaire. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.
- [10] N. Chennouf, Simulation numérique des écoulements dans une cavité ouverte et application à la cheminée solaire, Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2006.
- [11] T.TAYEBI. contribution à l'étude numérique de la convection naturelle laminaire d'un système radial de chauffage solaire. Thèse de Doctorat : Energies Renouvelables. Université Constantine 1, 2014.
- [12] S. Rahmouni. Optimisation technico-économique de la production d'hydrogène à partir des différentes sources d'énergie renouvelables dans le sud Algérien. Mémoire de Magister: Génie des Procédés. Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2013.
- [13] T.TAYEBI, Processus de la convection naturelle laminaire dans une cheminée solaire, Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2010.

- 
- [14] I. bouziane, S. louchani, Analyse numérique du comportement aérothermique dans une cheminée solaire combinée avec l'énergie géothermique, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.
- [15] Pablo González Gascón y Marín, Guillermo Gómez Fontecha, Ole Geisen, Les tours solaires, Deux approches pour utiliser l'énergie du soleil, Énergies renouvelables, ENSTA Paris, 2011.
- [16] D. BECHKI, Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Thèse de Doctorat, Université hadj lakhdar Batna, 2011.
- [17] Mehran Ghalamchi, Alibakhsh Kasaeian, Mehrdad Ghalamchi, Etude expérimentale des effets géométriques et climatiques Sur la performance une petite cheminée solaire, Énergie renouvelable et durable Avis 43 (2015) 425 – 431.
- [18] D.CHELOUFI. Réalisation et expérimentation d'une cheminée solaire, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014.
- [19] H. Günther, '*In hundert Jahren – Die künftige Energieversorgung der Welt (In hundred years – Future energy supply of the world)*' Kosmos, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1931.
- [20] R.E. Lucier, '*Apparatus for converting solar to electrical energy*', US. Patent, 1979.
- [21] N. Pasumarthi and S.A. Sherif, '*Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model. Part I: Mathematical model development*', International Journal of Energy Research, Vol. 22, N°3, pp. 277 – 288, 1998.
- [22] W. Haaf, K. Friedrich, G. Mayr and J. Schlaich, '*Solar chimneys. Part I: Principle and construction of the pilot plant in Manzanares*', International Journal of Sustainable Energy, Vol. 2, N°1, pp. 3 – 20, 1983.
- [23] EnviroMission Limited Inc, '*Clean, Green Renewable Energy: Technology Overview*', Available at: [http://www.enviromission.com.au/IRM/content/technology\\_technologyover.html](http://www.enviromission.com.au/IRM/content/technology_technologyover.html).
- [24] J. Schlaich, '*Tension Structures for Solar Electricity Generation*', Engineering Structures Vol. 21, N°8, pp. 658 – 668, 1999.
- [25] A brief history of solar chimney. Retrieved 10.11.2004 from.
- [26] I. Cabanyes, "Proyecto de Motor Solar", *La Energia Eléctrica Revista General de Electricidad y sus Aplicaciones*, 8, 61-65, 1903.
- [27] Site : <http://www.tour-solaire.fr>

- [28] RJK. Krisst, '*Energy Transfer System*', Alternative Sources of Energy, Vol. 63, pp. 8 – 11, 1983.
- [29] H. Kulunk, '*A Prototype Solar Convection Chimney Operated under Izmit Conditions*', In: TN. Veirolu, Editor. Proceedings of the 7th Miami International Conference on Alternative Energy Sources, p. 162, 1985.
- [30] N. Pasumarthi and SA. Sherif, '*Experimental and Theoretical Performance of a Demonstration Solar Chimney Model. Part II: Experimental and Theoretical Results and Economic Analysis*', International Journal of Energy Research, Vol. 22, N°5, pp. 443 – 461, 1998. Papageorgiou CD. Floating solar chimney: the link towards a solar future. In: Proceedings of the ISES 2005 solar world congress conference; August 2005.
- [31] SA. Sherif, N. Pasumarthi, RA. Harker and GH. Brinen, '*Performance of a demonstration solar chimney model for power generation*', Final Technical Report N°UFME/SEECL-9507, Solar Energy and Energy Conversion Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida; December, 1995.
- [32] XP. Zhou, JK. Yang, B. Xiao and GX Hou, '*Simulation of a Pilot Solar Chimney Power Equipment*', Renewable Energy, Vol. 32, N°10, pp. 1637 – 1644, 2007.
- [33] XP. Zhou, JK. Yang, B. Xiao and GX. Hou, '*Experimental Study of the Temperature Field in a Solar Chimney Power Setup*', Applied Thermal Engineering, Vol. 27, N°11-12, pp. 2044 – 2050, 2007.
- [34] C. Ketlogetswe, JK. Fiszdon and O. Seabe, '*Solar Chimney Power Generation Project - The Case for Botswana*', International Journal of Renewable and Sustainable Energy Review, Vol. 12, N°7, pp. 2005 – 2012, 2008.
- [35] A.G. Ferreira, C.B. Maia, M.F.B. Cortez and R.M. Valle, '*Technical Feasibility Assessment of a Solar Chimney for Food Drying*', Solar Energy, Vol. 82, N°3, pp. 198 – 200, 2008.
- [36] C.B. Maia, A.G. Ferreira, R.M. Valle and M.F.B. Cortez, '*Analysis of the Airflow in a Prototype of a Solar Chimney Dryer*', Heat Transfer Engineering, Vol. 30, N°5, pp. 393 – 399, 2009.
- [37] A. Koyun, I. Üçgül, M. Acar, R. Şenol R. Güneş, '*Bacası Sisteminin Termal Özet Dizaynı*', Tesisat Mühendisliği Dergisi, Vol. 98, pp. 45 – 50, 2007. available at: <http://www.mmoistanbul.org/yayin/tesisat/98/6>.
- [38] K. Golder, '*Combined Solar Pond And Solar Chimney*', Final year Mechanical Engineering Project. School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, Bundoora Campus, RMIT University, Melbourne, Australia; 2003.
- [39] A. Akbarzadeh, P. Johnson and R. Singh, '*Examining Potential Benefits of Combining a Chimney with a Salinity Gradient Solar Pond for Production of Power in Salt Affected Areas*', Solar Energy, Vol. 83, N°8, pp. 1345 – 1359, 2009.

## Résumé:

La centrale à cheminée solaire (CCS) est un dispositif économique pour la production de l'électricité solaire. L'augmentation de l'efficacité de production de ce type d'installation fait l'objet de plusieurs études théoriques plus qu'expérimentales. Parmi les paramètres influant sur l'efficacité de la cheminée solaire sont les dimensions, à savoir : la hauteur et le diamètre de la cheminée, le diamètre du collecteur et la hauteur de toit du collecteur. Dans le but de donner notre contribution nous avons établi un prototype d'une cheminée solaire pour donner une vision réelle sur l'influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de production de la cheminée solaire, tels que : le diamètre de la tour et la hauteur du toit du collecteur. Les résultats obtenus montrent l'influence remarquable des paramètres géométriques sur la vitesse d'écoulement par la suite sur l'énergie produite.

**Mots-clés:** Cheminée solaire, Paramètres géométriques, Température, Vitesse d'écoulement.

## Abstract:

The solar chimney power plant (CCS) is an economical device for the production of solar electricity. The increase in the production efficiency of this type of installation is the object of several theoretical rather than experimental studies. Among the parameters affecting the efficiency of the solar chimney are the dimensions, namely: the height and diameter of the chimney, the diameter of the collector and the roof height of the collector. In order to give our contribution we have established a prototype of a solar chimney to give a real view on the influence of the geometric parameters on the efficiency of production of the solar chimney, such as: the diameter of the tower and the Height of the collector roof. The results obtained show the remarkable influence of the geometric parameters on the flow velocity thereafter on the energy produced.

**Key-words:** Solar chimney, Geometric parameters, Temperature, Flow velocity

## ملخص:

المدخنة الشمسية نظام إقتصادي من أنظمة إنتاج الكهرباء الشمسية لذلك إنصب إهتمام العديد من الدراسات لا سيما النظرية منها بتحسين فعالية هاته الأنظمة والرفع من مردودها الإنتاجي، من بين المعايير المتحكمة في ذلك نجد الأبعاد الهندسية. والإسهام في هذا الموضوع وإعطاء نظرة واقعية لمدى تأثير هاته الخصائص الهندسية كإرتفاع وقطر المدخنة، مساحة اللاقط وإرتفاع سقفه على فاعلية المدخنة قمنا بتصميم وإنجاز مجسم مصغر لمدخنة شمسية. أثبتت النتائج المحصل عليها من التجارب المنجزة على التأثير المباشر والملاحظ للأبعاد الهندسية للمدخنة الشمسية على سرعة تدفق الهواء عند مدخل المدخنة وبالتالي على إنتاجيتها الطاقوية.

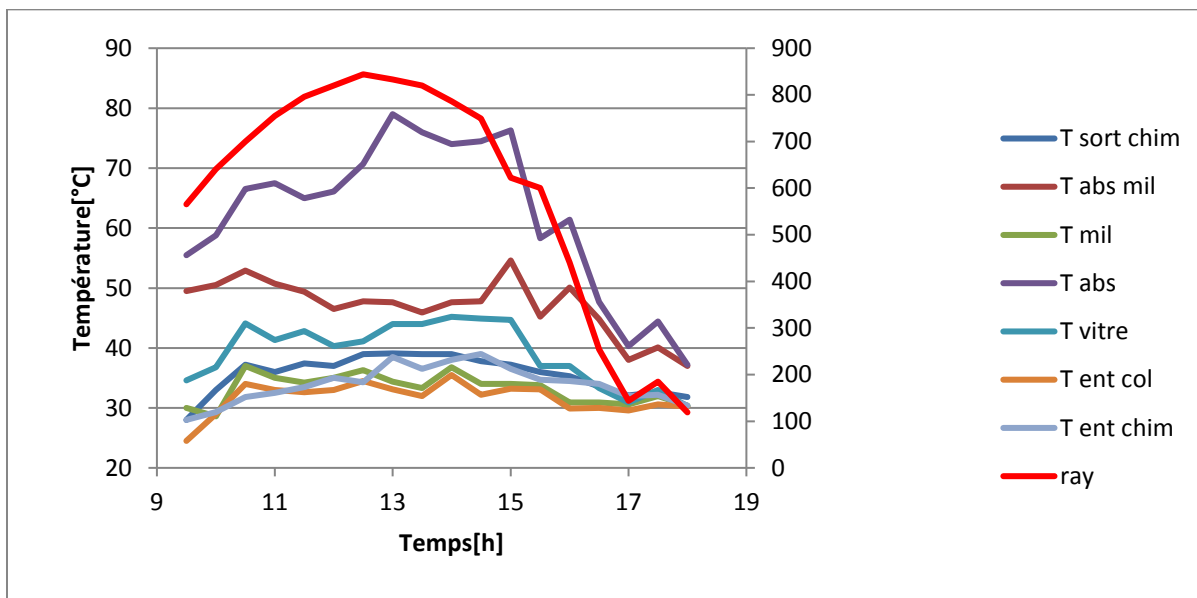
**الكلمات المفتاحية :** مدخنة شمسية, خصائص هندسية, درجة حرارة الهواء, سرعة الجريان.

## ANNEXES

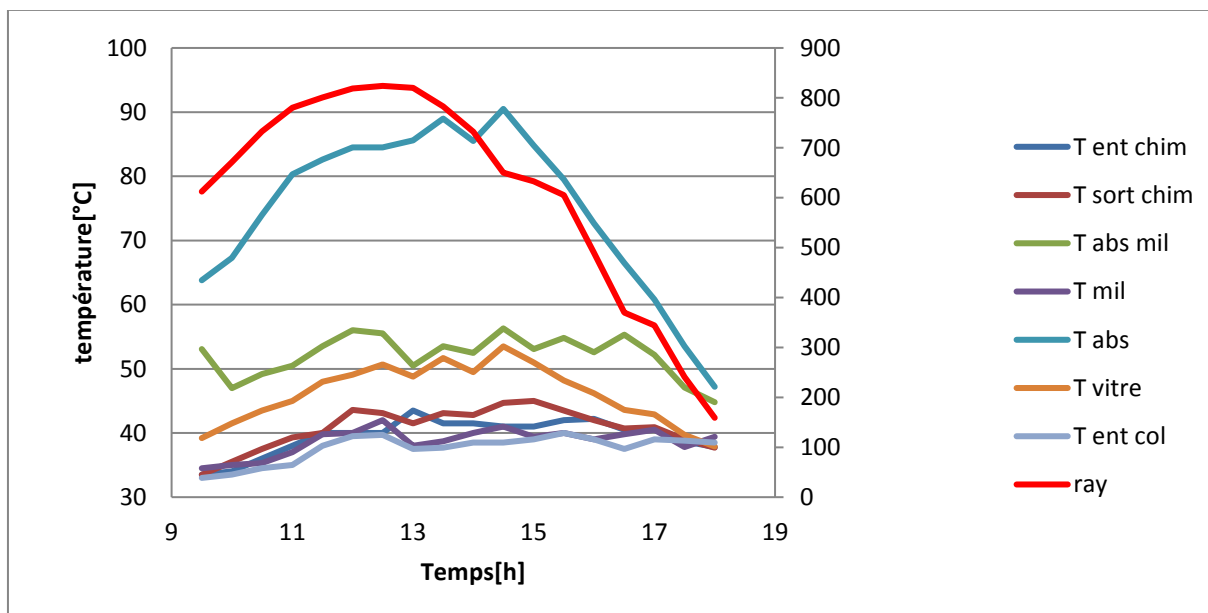
Variations du rayonnement et des températures aux différents points de la cheminée:

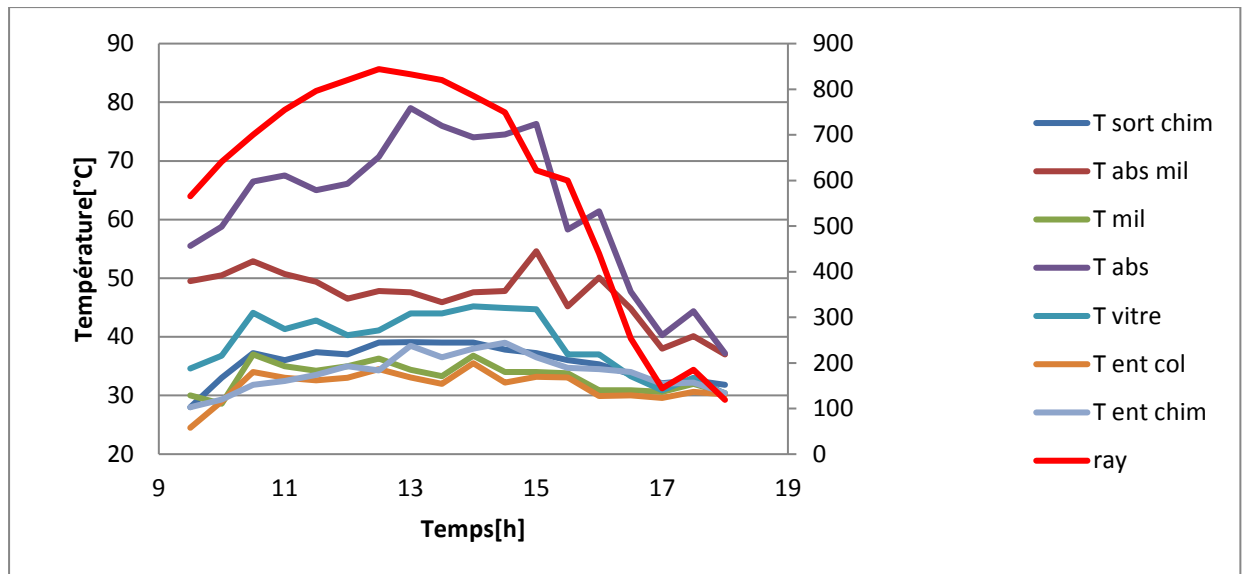
- Cas de  $H = 400 \text{ cm}$ ,  $D = 16 \text{ cm}$  :**

1- Journée de 8 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 5 \text{ cm}$

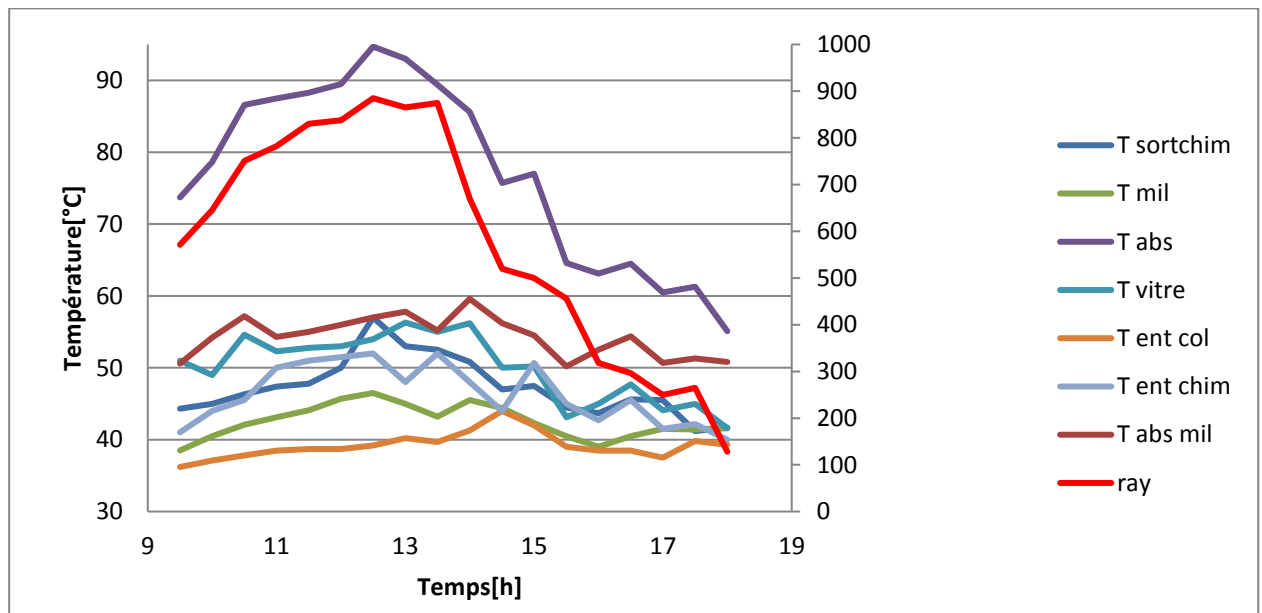


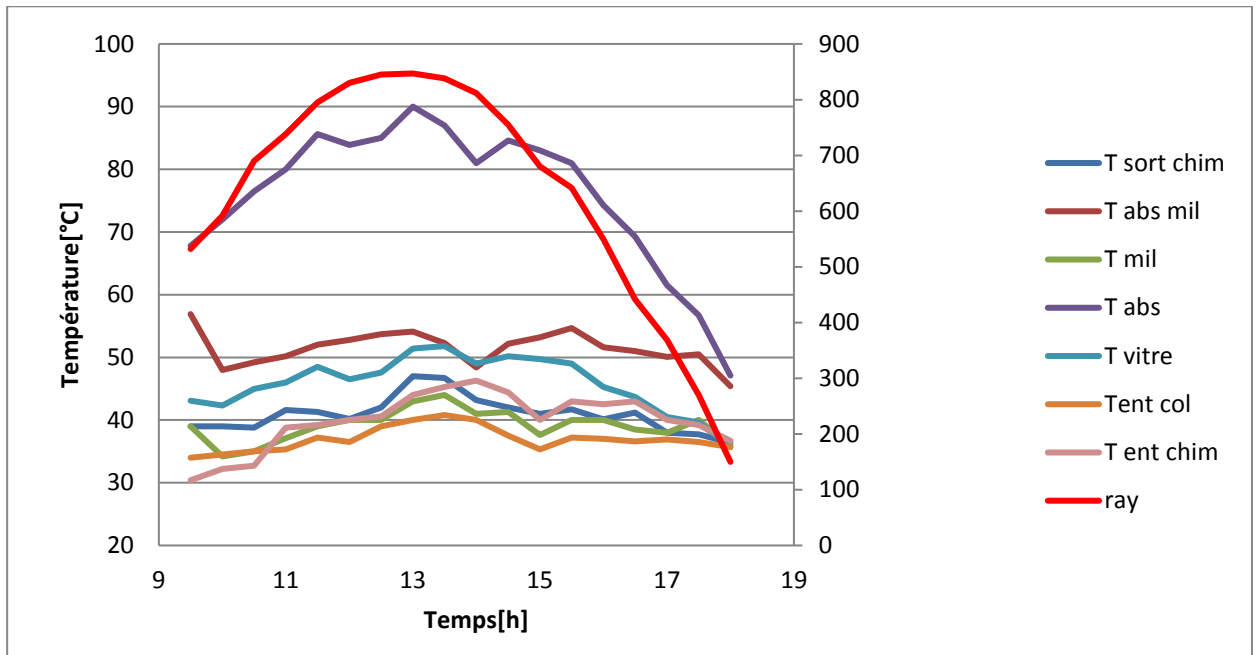
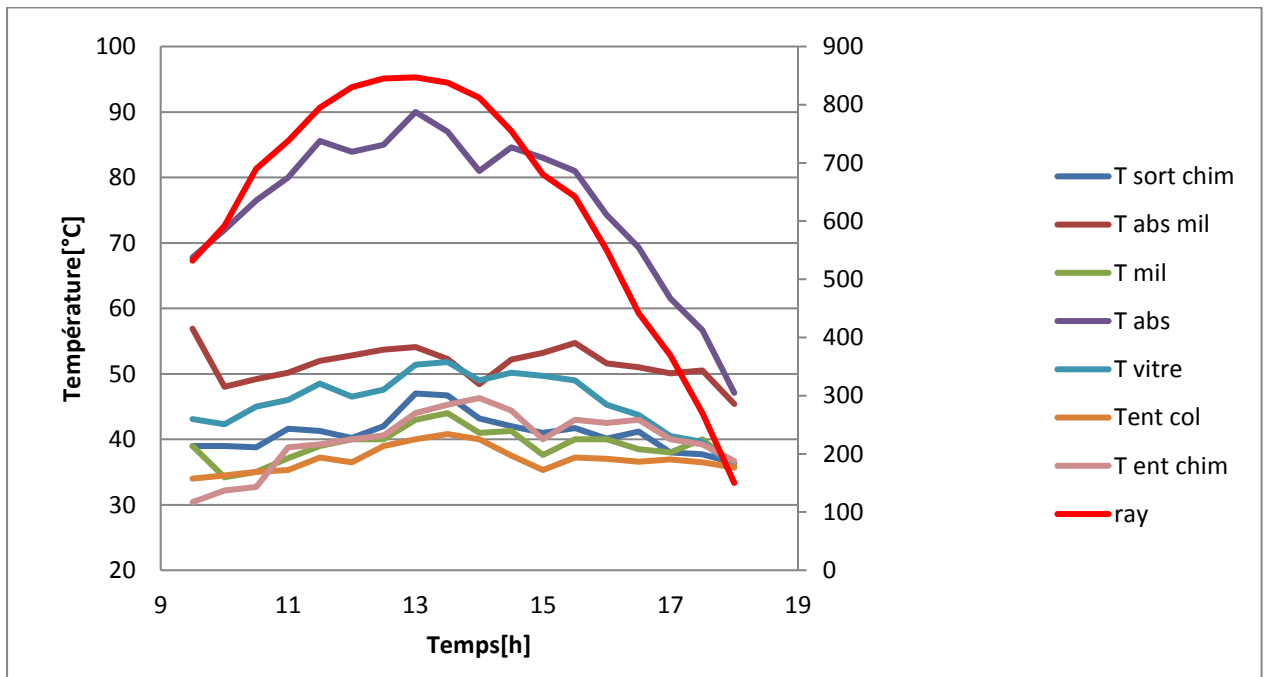
2- Journée de 9 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 10 \text{ cm}$



3- Journée de 16 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 15 \text{ cm}$ 

- **Cas de  $H = 300 \text{ cm}$ ,  $D = 16 \text{ cm}$  :**

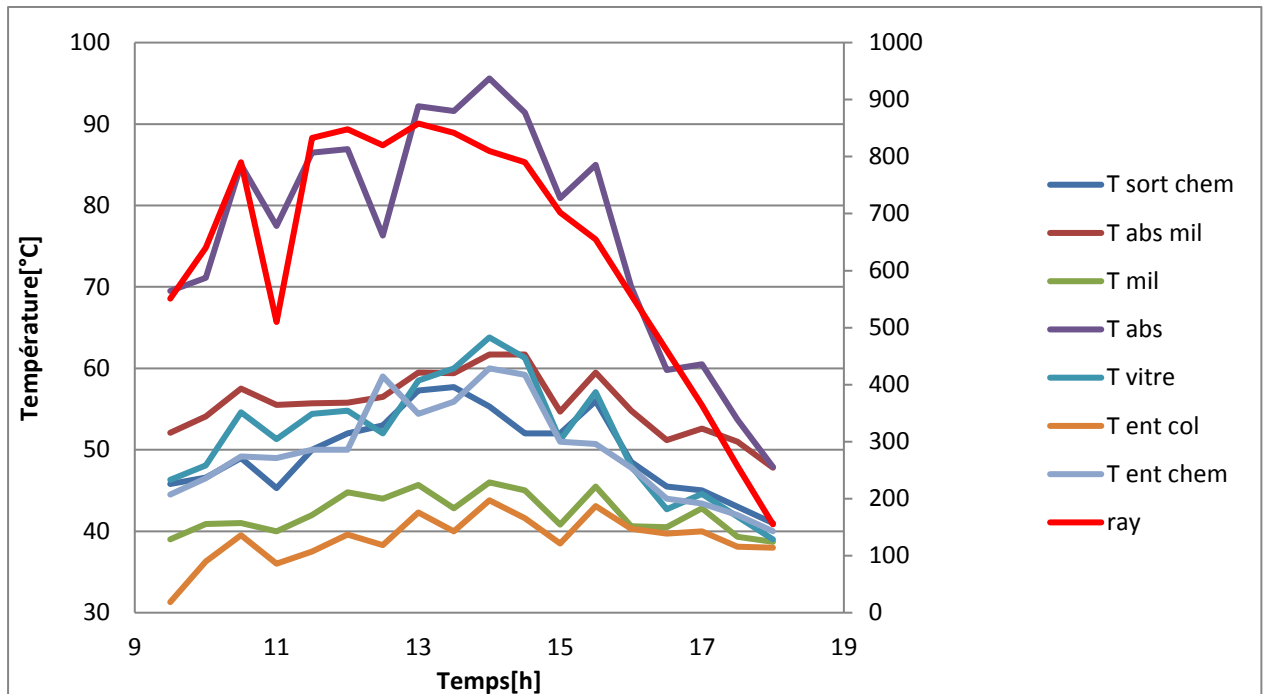
1- Journée de 19 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 5 \text{ cm}$ 

2- Journée de 18 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 10 \text{ cm}$ 3- Journée de 17 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 15 \text{ cm}$ 



- **Cas de H = 400 cm, D = 11 cm :**

1- Journée de 20 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 5 \text{ cm}$



- **Cas de H = 300 cm, D = 11 cm :**

Journée de 22 Mai 2017. Pour  $H_{\text{entrée}} = 5 \text{ cm}$ .

